This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

MÉMOIRE

SUR LES

VARIATIONS DIURNE ET ANNUELLE

DE LA TEMPÉRATURE,

ET EN PARTICULIER

DE LA TEMPÉRATURE TERRESTRE

A DIFFÉRENTES PROFONDEURS,

D'APRÈS LES OBSERVATIONS FAITES A L'OBSERVATOIRE DE BRUXELLES.

PAR A. QUETELET.

BRUXELLES,

M. HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE.

1837.

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRE

SUR

LES VARIATIONS DIURNE ET ANNUELLE

DE LA TEMPÉRATURE,

ET EN PARTICULIER

DE LA TEMPÉRATURE TERRESTRE

A DIFFÉRENTES PROFONDEURS,

D'APRÈS LES OBSERVATIONS FAITES A L'OBSERVATOIRE DE BRUXELLES [1].

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Depuis long-temps les observations des températures, faites à la surface du globe, ont mis en évidence que le thermomètre subit deux espèces de variations très-prononcées, l'une *annuelle* et l'autre *diurne*.

[1] Ce mémoire a été lu à l'académie, le 7 mai 1836. La rédaction n'a subi, depuis cette époque, d'autres changemens que ceux qui ont été nécessités par l'addition des tableaux de la température terrestre pendant le cours de l'année 1836.

Digitized by Google

Les observations ont fait connaître, de plus, que ces variations périodiques se manifestent encore, du moins dans de certaines limites, quand le thermomètre est enfoncé au-dessous de la surface du sol : ainsi, les variations *diurnes*, dépendantes du mouvement de la terre sur son axe, sont appréciables à plusieurs décimètres de profondeur; puis se présente une couche où elles cessent totalement de se manifester; tandis que les variations *annuelles*, dépendantes du mouvement de translation de la terre dans son orbite, y sont encore très-sensibles.

Ces dernières variations sont appréciables, dans nos climats, à plus de vingt mètres de profondeur; au delà se présente une seconde couche qu'on a nommée *couche invariable* des températures, parce que le thermomètre y conserve, pendant le cours de l'année, une hauteur à peu près constante. De sorte que l'on doit concevoir, au-dessous du sol, deux couches limites, l'une pour les variations diurnes et l'autre pour les variations annuelles du thermomètre.

Ces deux couches ne sont pas nécessairement parallèles; leurs distances varient très-probablement en allant de l'équateur aux pôles, d'après l'état des eaux, la nature et la conformation des terrains et diverses autres circonstances. Le très-petit nombre d'observations sur les températures terrestres, qui ont été recueillies jusqu'à présent, n'ont pas permis de déterminer la direction de ces couches ni les particularités qu'elles présentent; seulement la théorie montre que, dans un même lieu, les profondeurs où les variations diurnes et annuelles de la température cessent de se manifester, sont entre elles *comme les racines carrées des nombres qui représentent les durées des périodes des variations*, et par conséquent comme 1 est à $\sqrt{365}$, ou comme 1 est à 19 environ.

La théorie montre encore que les variations diurnes de la chaleur produisent les mêmes effets que les variations annuelles, mais dans des limites de terrain dix-neuf fois moins étendues; ainsi, deux points d'une même verticale qui atteignent en même temps leur *maximum* de la chaleur du jour, sont environ dix-neuf fois moins éloignés que ceux

Digitized by Google

qui parviennent ensemble à leur *maximum* de la chaleur annuelle [1].

En s'enfonçant progressivement au-dessous du sol, et en faisant abstraction des variations diurnes et annuelles de la température, on reconnaît que le thermomètre monte rapidement; et, en général, on peut estimer que, pour obtenir un degré centigrade d'accroissement dans la température, il suffit de descendre de 25 à 30 mètres [2]. Si les variations diurne et annuelle n'existaient pas, il faudrait donc se représenter la température du globe comme allant en croissant quand on descend de la surface vers le centre; et il ne faudrait guère descendre, dans nos climats, de plus de 3000 mètres, pour trouver une température qui surpasserait celle de l'eau bouillante.

En s'élevant de la surface vers les régions supérieures de l'atmosphère, on a reconnu au contraire que le thermomètre s'abaisse graduellement; et, en prenant la moyenne entre les résultats observés, on trouve un degré centigrade d'abaissement pour 165 mètres d'élévation [3]. La température va donc en s'abaissant, mais non pas d'après une même loi, depuis l'intérieur de la terre jusqu'aux dernières limites de l'atmosphère [4]. La température au delà de ces dernières limites, d'après les ingénieuses et savantes recherches de Fourier et de plusieurs autres physiciens, peut être évaluée à 60 degrés centigrades environ au-dessous de zéro; c'est ce qu'on a nommé la *température des espaces planétaires.*

Si les observations suivies des températures terrestres sont rares, celles faites à différentes hauteurs dans l'atmosphère le sont bien plus encore; l'on peut dire même qu'on ne connaît à peu près rien sur les

[1] *Théorie du mouvement de la chaleur dans les corps solides,* par Fourier, pag. 163, tom. V des *Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France.*

[2] Pouillet, *Élémens de physique et de météorologie*, tom. II, 2me partie, pag. 654, 1re édit.

[3] *Ibid.*, pag. 658.

[4] Ceci n'est pas rigoureusement vrai, car l'expérience prouve que, lorsqu'on ne considère que des hauteurs très-petites, comme 8 à 10 mètres, il se présente des irrégularités singulières qui dépendent de la direction du vent et de la présence ou de l'absence du soleil; il n'est pas rare, par exemple, de voir, entre ces limites, la température devenir croissante avec la hauteur. Ce phénomène arrive en général, dans la nuit jusqu'au matin, quand l'air est calme et le ciel serein; c'est un effet du rayonnement (Pouillet, tome II, 2me partie, page 661).

Digitized by Google

variations diurne et annuelle du thermomètre à différentes hauteurs. On ignore encore s'il existe des couches où ces variations cessent de se manifester; ceci du reste ne paraît nullement probable [1], mais il serait intéressant de rechercher si les limites des variations se resserrent en s'élevant dans l'atmosphère; il ne serait pas moins intéressant de reconnaître où se trouvent les couches dans lesquelles les variations diurne et annuelle ont le plus d'intensité [2]. Ce sont des problèmes curieux de la physique du globe qui sont restés jusqu'aujourd'hui sans solution.

PREMIÈRE PARTIE.

TEMPÉRATURE DE L'AIR.

1. *Résultats généraux des observations des variations diurne et annuelle de la température de l'air.*

Si l'action solaire se manifestait immédiatement, et si les phénomènes des températures ne se compliquaient d'aucune influence étrangère, le thermomètre, chaque jour, serait, à l'heure de midi même, à son plus haut point d'élévation; et les degrés par lesquels il monte, dans le cours de la matinée, formeraient une échelle qui serait sensiblement la même que celle des degrés par lesquels il s'abaisserait après

[1] Ce n'était pas l'opinion de Saussure ni celle du baron de Zach. *Voyez* le dict. de Gehler, III, 1012 et la *Corresp. de Zach*, XXI, 119.

[2] Il peut exister d'autres variations périodiques encore, bien moins sensibles et plus longues; par exemple, celle qui dépendrait du déplacement de la ligne des absides et qui se rapporterait aux températures moyennes annuelles, comparées entre elles.

Digitized by Google

midi; de sorte que la courbe qui représenterait la marche du thermomètre pendant l'espace de vingt-quatre heures, pourrait être considérée comme symétrique des deux côtés de l'ordonnée *maximum*; il en serait de même de la courbe qui représenterait les variations des températures annuelles; le *maximum* se manifesterait au solstice d'été, et le *minimum* au solstice d'hiver. Mais il n'en est point ainsi; les courbes des variations ne sont point régulières, et les *maxima* et les *minima* ne tombent pas aux époques où le soleil a sa plus grande ou sa moindre action. Le problème se complique d'un grand nombre de causes, parmi lesquelles il faut surtout ranger les facultés inégales qu'ont les corps d'absorber, de transmettre ou de rayonner la chaleur, l'humidité de l'air ou de la terre, les vents ainsi que la configuration et l'élévation des terrains. Ces causes sont si complexes qu'il n'est guère possible d'aborder la solution du problème autrement que par l'expérience, en se réservant d'exprimer ensuite par des lois empiriques les principales circonstances qu'il présente.

Le premier travail suivi sur les variations diurnes du thermomètre paraît dû à Chiminello de Padoue, qui, vers la fin du siècle dernier, eut la constance d'observer le thermomètre pendant 16 mois, et d'heure en heure, depuis 4 heures du matin jusqu'à 11 heures du soir. Des observations horaires furent aussi faites à Leith, près d'Édimbourg, pendant les années 1824 et 1825. Vers la même époque, des observations semblables se faisaient par les soins de Neuber à Apenrade en Danemarck, mais sur une échelle moins étendue. Bento Sanchez Dorta, à Rio Janéiro, en 1785, et MM. Horner et Langsdorff sur le Grand-Océan se sont aussi occupés des variations horaires du thermomètre.

Les principaux faits qui ont été mis en évidence par ces séries d'observations, sont les suivans :

1° La courbe qui indique les variations diurnes du thermomètre n'est pas régulière; elle présente un *maximum* et un *minimum* qui sont séparés par des intervalles de temps inégaux. La distance de ces intervalles pendant le jour est moindre que pendant la nuit. Ainsi, l'on a trouvé :

Digitized by Google

	TEMPÉRATURE.		
	MINIMUM.	MAXIMUM.	DIFFÉRENCE.
A Padoue	4h3 mat. . . .	2h0 soir. . . .	9h7
A Leith	4,6 » . . .	2,6 » . . .	10,0
A Paris	4,0 » . . .	2,0 » . . .	10,0

2° Les termes *maximum* et *minimum* sont variables selon les saisons, non-seulement pour les heures auxquelles ils se présentent, mais encore pour le nombre de degrés qui les séparent. On en jugera par les résultats suivans, déduits de l'observation [1].

MOIS.	ÉPOQUES DU MAXIMUM.		DIFFÉRENCE DES TEMPÉRAT. Maximum et minimum.	
	PADOUE.	LEITH.	PADOUE.	LEITH.
Janvier	2h1 soir.	2h4 soir.	3°,45 c.	1°,47 c.
Février	1,8 »	1,9 »	4,00	1,96
Mars	2,4 »	2,6 »	4,75	3,38
Avril	3,5 »	3,6 »	5,23	5,67
Mai	2,3 »	3,8 »	7,60	4,55
Juin	2,3 »	3,7 »	6,67	4,34
Juillet	2,2 »	4,1 »	9,39	5,10
Août	2,3 »	3,7 »	8,96	4,08
Septembre	1,9 »	2,5 »	6,88	4,47
Octobre	2,1 »	1,4 »	4,49	2,71
Novembre	1,3 »	1,7 »	5,17	2,24
Décembre	1,5 »	1,4 »	4,11	1,28
ANNÉE	2,14	2,73	5,89	3,44

3° La moyenne des températures de deux heures *homonymes*, d'après M. De Humboldt, s'écarte généralement peu de la température moyenne du jour; l'écart est surtout peu sensible, quand on choisit 4 heures du matin et 4 heures du soir.

Si l'on recherche, d'une manière expérimentale, les instans précis où se présentent les moyennes températures de l'année, on obtient

[1] Kæmtz, *Lehrbuch der meteorologie*, tome 1, pag. 85 et 87. Voyez aussi *Saggi scientifici di padova*, I, 195 et 208, ainsi que l'*Edinburyh journal of science*, n° IX, juin 1826.

Digitized by Google

ces résultats, d'après les observations de Leith et de Padoue :

LIEUX.		HEURE DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE. MATIN.	SOIR.
A Leith	1824.	9 heur. 13 minutes.	8 heur. 26 minutes.
	1825.	9 » 13 »	8 » 28 »
A Padoue.		8 » 41 »	7 » 52 »

4° Quoique les heures des températures moyennes de l'année soient très-différentes selon les climats, néanmoins l'intervalle des heures est à peu près le même sous les différentes latitudes. Ainsi, il a été

A Leith	de	11 heures	12	minutes.
A Padoue . .		11 »	14	»
A Apenrade. .		11 »	11	»

5° Les instans de la température moyenne du jour varient selon les saisons, et présentent dans les différens lieux des discordances assez grandes; on en pourra juger par le tableau suivant, où se trouvent aussi calculés les intervalles de temps qui séparent les deux instans du jour où le thermomètre atteint son élévation moyenne [1].

MOIS.	MATIN.		SOIR.		DISTANCE des temps moyens.	
	PADOUE.	LEITH.	PADOUE.	LEITH.	PADOUE.	LEITH.
Janvier	$10^h,2$	$10^h,5$	$8^h,7$	$7^h,8$	10^h5	$9^h,5$
Février	10,1	9,9	9,7	7,2	11,6	9,3
Mars.	9,6	9,9	9,2	8,6	11,6	10,7
Avril	9,5	9,0	9,1	8,8	11,6	11,8
Mai	7,6	9,0	7,6	9,0	12,0	12,0
Juin.	7,4	8,8	7,1	8,6	11,7	11,8
Juillet	7,5	8,7	7,1	8,9	11,6	12,2
Août.	8,2	8,8	7,4	8,5	11,2	11,7
Septembre.	8,8	9,1	7,9	8,2	11,1	11,1
Octobre.	9,4	9,2	7,5	6,8	12,1	9,6
Novembre	9,2	9,6	6,6	7,7	9,4	10,1
Décembre	9,6	9,5	7,5	6,2	9,9	8,7

[1] Kæmtz, tome 1, page 107.

Digitized by Google

Si de la considération des variations diurnes, nous passons à celle des variations annuelles de la température, nous trouverons :

1° La courbe des *variations annuelles* des températures présente plus de régularité que celle des variations diurnes. M. le baron De Humboldt avait fait observer sa remarquable symétrie des deux côtés de l'ordonnée *maximum*. M. Bouvard fit voir, d'après les observations de Paris, que les jours des plus basses et des plus hautes températures de l'année, ont été le 14 janvier et le 15 juillet, et ne diffèrent ainsi que d'un jour sur l'espace d'une demi-année. M. Kæmtz (tome I, p. 126) a trouvé des périodes un peu différentes, et il a remarqué de plus que les époques des *maximum* et *minimum* de température varient peu avec les latitudes : voici les résultats sur lesquels il a fondé ses calculs; nous avons compris dans le même tableau les époques des températures moyennes.

LIEUX.	ÉPOQUES DES			
	MINIMUM.	MAXIMUM.	TEMPÉRATURES MOYENNES.	
Enontekis.	20 janvier.	26 juillet.	28 avril.	22 octobre.
Christiania	17 »	20 »	3 mai.	14 »
Upsal.	16 »	21 »	22 avril.	18 »
Fort Sullivan	24 »	29 »	26 »	26 »
Manchester	12 »	27 »	27 »	23 »
Paris	15 »	28 »	18 »	19 »
Turin.	3 »	27 »	18 »	26 »
Padoue	15 »	26 »	20 »	15 »
Rome.	16 »	1 août.	1 mai.	24 »
Ville du Cap.	6 »	4 »	19 avril.	21 »
Fort Johnston	18 »	21 juillet.	21 »	18 »
Abusheher	12 »	18 »	23 »	22 »

En prenant les moyennes arithmétiques de ces nombres, on

Digitized by Google

obtient :

Pour le jour le plus froid de l'année	14 janvier.
— le plus chaud . . .	26 juillet.
Pour les jours de température moyen.	24 avril.
	21 octobre.

2° Les différens climats offrent des dissemblances très-prononcées relativement aux irrégularités qu'on observe dans les variations diurne et annuelle du thermomètre. On en jugera par le tableau suivant [1] :

LIEUX.	TEMPÉRATURE moyenne DE L'ANNÉE.	TEMPÉRATURE DU MOIS		DIFFÉRENCE.
		LE PLUS CHAUD.	LE PLUS FROID.	
Funchal	20°,3	23°,2	17°,2	6°,0
St-Malo	12,3	19,4	5,4	14,0
Paris	10,6	18,5	2,3	16,2
Londres	10,2	18,0	2,2	15,8
New-Yorck	12,1	27,1	— 3,7	30,8
Pékin.	12,7	29,1	— 4,1	33,2

On a partagé, d'après ces différences de température, les climats, en climats *constans*, *variables* et *excessifs* : ainsi, Funchal appartiendrait aux climats constans, et New-Yorck ainsi que Pékin aux climats excessifs.

3° On a remarqué que le décroissement de température, en s'élevant au-dessus du sol, varie pendant les différentes saisons de l'année. Les observations de M. Guerin à Ventoux, près d'Avignon, ont fait voir qu'en été il suffisait de s'élever de 156 mètres pour avoir un abaissement d'un degré centigrade, et qu'en hiver il fallait s'élever à 195 mètres.

[1] Pouillet, *météorologie*, tome II, page 636; le tableau original contient quelques erreurs de chiffres. *Voyez* aussi Kæmts, t. II, p. 88.

Digitized by Google

2. *Observations des variations diurne et annuelle de la température de l'air en Belgique.*

Nous ne connaissons pas d'observations faites en Belgique dans la vue de déterminer les *variations diurnes de la température*, soit de l'air, soit de la terre; nous aurions voulu, à partir de 1836, pouvoir combler cette lacune, mais le manque d'aides et divers obstacles nous ont empêché de remplir cette tâche avec l'exactitude désirable; il a fallu interrompre souvent les observations, surtout celles de la nuit, nous nous bornerons donc à ne présenter, comme essai, que celles qui concernent les *maxima* de la température.

Ces observations ont été faites au moyen de quatre thermomètres : le premier était placé au nord et à l'ombre, à plus de 3 mètres d'élévation au-dessus du sol; les trois autres étaient placés au sud et directement sous l'influence du soleil, savoir *A* ayant sa boule appuyée à la surface de la terre, *B* ayant sa boule à moitié enterrée, et *C* ayant sa boule immédiatement au-dessous de la surface du sol. En général, pendant les jours de pluie, les thermomètres n'ont pas été observés, parce que l'humidité qui couvrait les instrumens et l'évaporation devaient nécessairement rendre leurs indications plus ou moins fautives; il résulte de là qu'il ne faut guère compter plus de vingt jours d'observations pour chacun des quatre derniers mois de 1836, et la moitié seulement pour juin et mars. Les observations de janvier, pour le thermomètre exposé au nord, datent de 1834, époque à laquelle nous avons observé, pendant quinze jours consécutifs, les instrumens météorologiques, à partir de 5 heures du matin jusqu'à 11 heures du soir. Ces dernières observations étaient faites en correspondance avec celles que M. Hudson faisait à la société royale de Londres.

Enfin les époques des *maxima* ont été déterminées, en calculant une parabole dont les abscisses exprimaient les temps et dont les ordonnées indiquaient les hauteurs thermométriques correspondantes.

Digitized by Google

Observations horaires de la température, échelle centigrade.

MOIS.	THERMOMÈTRES	9 HEURES.	10 HEURES.	11 HEURES.	12 HEURES.	1 HEURE.	2 HEURES.	3 HEURES.	4 HEURES.	HEURE du MAXIMUM.
Janv.	Ther. au N.	8°,88	9°,22	9°,58	9°,82	9°,96	10°,06	9°,80	9°,50	1h 47′
Mars.	Th. *A* au S.				21,25	22,33	22,18	19,04	17,92	1 22
	B »				19,13	20,10	20,19	18,07	16,85	1 32
	C »				18,52	19,56	19,63	17,93	16,70	1 32
Juin.	Th. *A* au S.	24,18	27,40	29,35	30,65	30,96	30,54	29,03	24,77	0 56
	B »	22,43	25,67	27,69	29,26	30,09	29,74	28,69	25,38	1 12
	C »	20,31	24,34	26,52	28,10	28,90	28,83	27,69	25,37	1 25
Sept.	Ther. au N.	15,88	16,98	17,00	17,43	18,05	18,18	18,00	17,57	1 55
	Th. au S. *A*.	14,49	16,40	16,96	19,01	20,12	19,60	18,99	17,71	1 11
	» *B*.	13,81	15,79	16,23	18,18	19,47	19,27	17,68	17,11	1 21
	» *C*.	13,69	15,73	15,99	17,77	19,08	18,87	17,53	16,96	1 21
Oct.	Ther. au N.	11,12	11,89	12,22	12,79	12,94	12,73	12,42	12,09	0 55
	Th. *A* au S.	11,13	12,16	13,36	14,95	14,72	13,93	12,83	12,23	0 22
	B »	10,45	11,45	12,49	13,94	13,90	13,29	12,56	11,84	0 28
	C »	10,37	11,36	12,38	13,78	13,84	13,24	12,46	11,95	0 35
Nov.	Ther. au N.	6,05	6,83	7,33	7,98	8,17	8,17	7,96	7,59	1 30
	Th. *A* au S.	5,04	6,02	7,13	7,99	7,93	7,55	6,76	6,16	0 26
	B »	4,61	5,66	6,55	7,33	7,48	7,25	6,70	5,88	0 51
	C »	4,45	5,70	6,43	7,47	7,53	7,25	6,71	6,14	0 41
Déc.[1]	Ther. au N.	7,90	8,28	8,65	8,98	9,06	9,00	8,86	8,58	1 2
	Th. *A* au S.	6,46	7,30	8,03	8,50	8,55	8,20	7,73	7,28	0 37
	B »	6,26	6,97	7,42	7,86	8,00	7,78	7,39	7,00	0 53
	C »	6,36	7,04	7,63	8,11	8,20	7,94	7,58	7,20	0 46

Ce tableau montre d'abord que les époques des *maxima* de tempé-

[1] Quelques-uns des derniers jours de novembre se trouvent compris dans cette série de 20 jours d'observations.

Digitized by Google

rature diffèrent très-sensiblement pour nos quatre thermomètres; car, en prenant les époques moyennes pour chacun d'eux, on trouve :

	ÉPOQUE DU MAX. DE TEMPÉRATURE.			
Pour le thermomètre placé au Nord.	1 heure	25	minutes.	
— *A* placé au Sud	0 »	39	»	
— *B* —	0 »	53	»	
— *C* —	0 »	53	»	

La différence pour le thermomètre placé au nord et à l'ombre, et pour le thermomètre *A* placé au sud sous l'influence des rayons solaires, est de 46 minutes, ou de 42 seulement en comparant les observations faites les mêmes jours.

Les *maxima* de température pour les thermomètres *B* et *C*, sont arrivés à peu près exactement aux mêmes heures et ont suivi de 14 minutes les *maxima* pour le thermomètre *A*.

L'explication de cette différence semble se présenter naturellement. Les thermomètres, placés sous l'action directe du soleil, doivent en effet réparer plus rapidement les pertes de chaleur faites pendant la nuit que les thermomètres placés au nord et à l'ombre, car ils subissent au plus haut point l'action combinée de la chaleur rayonnante qui peut être considérée comme agissant presqu'immédiatement, et de la chaleur de contact qui se transmet beaucoup plus lentement par l'intermédiaire de l'air et des corps environnans. Or les différens thermomètres, pendant la nuit, descendent assez généralement au même point, tandis que les thermomètres, placés au midi et à terre, montent quelquefois à une hauteur double, au-dessus de zéro, de celle indiquée par les thermomètres placés au nord et à l'ombre : ainsi, j'ai vu les premiers thermomètres s'élever jusqu'à 50 degrés centigrades et au delà, pendant que les autres n'allaient guère à plus de 28°.

Pendant les trois derniers mois de l'année, le temps a été assez généralement couvert et pluvieux; et comme les températures variaient peu, les pertes de la nuit étaient plus rapidement réparées et les

Digitized by Google

époques des *maxima* se sont rapprochées de midi. On peut voir aussi, dans les tableaux de Padoue et de Leith, qui ont été cités plus haut, qu'en général les époques des *maxima* se sont plus rapprochées de midi pendant les mois où les variations de température diurne étaient moindres.

Quant à l'élévation de la température, on remarquera que, par des temps couverts ou humides, les thermomètres placés à la surface de la terre ont donné des indications un peu plus faibles que celui placé au nord et à trois mètres de hauteur au-dessus du sol; tandis que le contraire avait nécessairement lieu par un ciel serein et sous l'influence des rayons solaires. L'humidité et l'évaporation dans le contact du sol pouvaient être cause de la première différence.

Si nous considérons maintenant l'étendue des oscillations thermométriques dans l'espace de 24 heures, voici les résultats que nous avons obtenus, pour quatre années et pour les différens mois.

Différences des températures maximum *et* minimum *pendant le jour.*

MOIS.	1833.	1834.	1835.	1836.	MOYENNE.
Janvier	5°,33	4°,7	5°,0	5°,6	5°,1
Février	5,55	6,0	4,9	5,5	5,5
Mars.	6,46	7,2	7,3	6,5	6,9
Avril.	9,07	8,6	8,1	7,3	8,3
Mai	11,03	10,4	8,8	9,5	10,2
Juin	11,62	10,2	10,4	9,4	10,4
Juillet	10,37	10,1	12,6	10,3	10,8
Août	10,23	8,6	10,4	9,5	9,7
Septembre	8,26	10,0	7,9	7,2	8,3
Octobre	8,25	7,9	6,6	6,5	7,3
Novembre	6,17	5,7	5,4	5,4	5,7
Décembre	5,22	4,8	5,4	4,2	4,9
MOYENNE	8,21	7,9	7,8	7,2	7,8

Digitized by Google

Nous pouvons juger, par ce tableau, que la variation des températures est plus sensible à Bruxelles, dans l'espace de 24 heures, qu'à Leith ou à Padoue; et cela s'observe pour chacun des mois de l'année. Si l'on construit la courbe qui, par ses ordonnées, indique les variations diurnes, tandis que les abscisses représentent les mois de l'année; on trouve que sa forme est assez régulière, beaucoup plus du moins que ne le sont les courbes analogues, construites d'après les observations de Padoue et de Leith (*voyez* la figure 1). Le calcul montre qu l'on a pour les époques

De la variation	minimum	le 24 décembre.
—	maximum	7 juillet.
—	moyenne	2 avril.
—	—	1 octobre.

ainsi, les époques des variations *maximum* et *minimum* tombent un peu après les solstices d'été et d'hiver, tandis que les époques des variations moyennes se présentent environ huit jours après les équinoxes.

La variation *minimum* n'arrive que deux jours après le solstice d'hiver, tandis que la variation *maximum* se présente environ quinze jours après le solstice d'été. Les retards sont donc directement en rapport avec la hauteur du soleil sur notre horizon, et avec l'amplitude de la variation thermométrique en 24 heures.

Si nous passons maintenant aux *variations annuelles des températures*, et si nous cherchons d'abord les époques des plus hautes et des plus basses températures de l'année, nous trouverons, en faisant usage des documens recueillis en Belgique depuis plus d'un demi-siècle[1], et en prenant la moyenne entre les jours qui ont donné, cha-

[1] Voyez l'*Aperçu historique* des observations de météorologie faites en Belgique jusqu'à ce jour, tome I des *Annales de l'observatoire de Bruxelles*, et tome VIII des *Mémoires de l'académie royale de Bruxelles*.

Digitized by Google

que année, la plus haute et la plus basse température,

ANNÉES.	ÉPOQUE DE LA TEMPÉRATURE MINIMUM.	MAXIMUM.
1763 à 1788 (22 années)	17 janvier.	20 juillet.
1800 à 1834 (34 —)	14 —	21 —
MOYENNE. . . .	15 janvier.	20 juillet.

Les moyennes des deux séries d'observations s'écartent fort peu entre elles, et très-peu aussi des résultats obtenus dans d'autres localités.

Quant à la question de savoir si notre climat doit être rangé parmi les climats variables, constans ou excessifs, il suffira de réunir les résultats des observations qui ont été faites en Belgique et qui semblent mériter le plus de confiance [1].

LIEUX D'OBSERVATION.	PÉRIODE.	TEMPÉRATURE moyenne DE L'ANNÉE.	TEMPÉRATURE DU MOIS le PLUS CHAUD.	le PLUS FROID.	DIFFÉRENCE.
Bruxelles. De Poederlé .	1777-78	11°,50 c.	23°,00	2°,10	20°,90
Bruxelles. L'abbé Mann .	1784-87	10,05	20,25	0,62	19,63
Bruxelles. Kickx . . .	22 ann.	10,63	20,60	1,25	19,35
Malines	10 ann.	12,70	24,40	—0,90	25,30
Maestricht	1818-29	10,88	20,23	0,70	19,53
MOYENNE. . .	. . . .	11,15 c.	21,69	0,75	20,94

D'après ces résultats, notre climat devrait être rangé parmi les climats variables avec une tendance néanmoins à se rapprocher des climats excessifs. Je crois du reste qu'en rejetant du calcul des moyennes les observations de Malines et celles de M. de Poederlé, qui semblent moins exactes, on aura des résultats qui méritent plus de confiance et qui sont encore conformes aux conclusions que nous venons d'obtenir : la température moyenne de l'année serait alors de 10°,52 cent.,

[1] *Aperçu historique*, etc.

Digitized by Google

et les températures des mois le plus chaud et le plus froid, de 20°,36 et 0°,85, ce qui donne pour différence 19°,51.

Les observations de Bruxelles pour les quatre dernières années, dont la température a été assez douce, ont donné :

ANNÉES.	TEMPÉRATURE moyenne.	TEMPÉRATURE DU MOIS		DIFFÉRENCE.
		LE PLUS CHAUD.	LE PLUS FROID.	
1833.	10°,3	18°,1	— 1°,4	19°,5
1834.	12,1	21,1	+ 4,8	16,3
1835.	10,7	19,1	+ 2,2	16,9
1836.	10,3	18,2	+ 3,0	15,2
MOYENNE	10,6	19,1	+ 2,1	17,0

En réunissant les observations de Bruxelles et de Maestricht, on trouve que les températures, dans leurs variations mensuelles, ont présenté les valeurs suivantes : (*Voy.* fig. II.)

MOIS.	BRUXELLES.		MAESTRICHT.	MOYENNE.	D'APRÈS L'OBSERVATOIRE. 1833-36.
	L'ABBÉ MANN.	Mr. KICKX.			
Janvier . .	0°,62	1°,25	0°,70	0°,86	3°,5
Février . .	1,84	3,45	3,00	2,76	5,2
Mars . . .	4,18	7,50	5,85	5,84	5,9
Avril . . .	9,26	10,35	10,73	10,11	8,9
Mai. . . .	15,24	14,70	15,02	14,99	14,2
Juin . . .	18,84	17,80	18,56	18,40	17,8
Juillet. . .	20,25	20,60	20,23	20,36	19,0
Août . . .	18,19	18,10	19,56	18,62	17,7
Septembre .	15,15	13,75	16,24	15,06	15,1
Octobre . .	9,55	10,65	10,82	10,34	11,4
Novembre. .	6,55	6,65	6,53	6,58	6,4
Décembre. .	0,96	2,85	3,32	2,34	4,7
ANNÉE . .	10,05	10,63	10,88	10,52	10,8

Digitized by Google

Ce tableau montre que la température du mois d'octobre et celle de la fin d'avril représentent assez bien en Belgique la température moyenne de l'année. En employant les méthodes d'interpolation, on trouve plus exactement, d'après le tableau précédent,

ÉPOQUES DE LA TEMPÉRATURE.	POUR BRUXELLES ET MAESTRICHT.	OBSERVATOIRE, 1833—36.
Maximum	15,6 juillet.	14,4 juillet.
Minimum	12,9 janvier	12,0 janvier.
Moyenne en avril . . .	17,6 avril	25,8 avril.
— en octobre . .	14,0 octobre	18,6 octobre.

DEUXIÈME PARTIE.

TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

1. *Résultats généraux des observations des variations diurne et annuelle de la température de la terre, faites jusqu'à ce jour.*

Il existe bien peu d'observations suivies sur la température de la terre à diverses profondeurs; et celles que nous avons, ne présentent peut-être pas toutes les garanties désirables, comme nous le verrons plus loin. Les physiciens qui se sont occupés de ces sortes de recherches, ont en général adopté le même mode d'observation, qui consiste à suivre la marche de thermomètres dont les boules plongent en terre à des profondeurs plus ou moins grandes, et dont les tubes sont assez longs pour que l'échelle des degrés se trouve placée au-dessus de la surface du sol. Mais je ne sache pas qu'aucun de ces observateurs, de ceux du moins qui ont publié leurs observations, aient eu égard à la différence des températures que devait nécessairement

Digitized by Google

prendre le thermomètre à ses deux extrémités, ce qui exigeait une correction d'autant plus grande que la capacité de la boule était moindre par rapport à celle du tube.

Je ne pense pas qu'on ait d'observations directes, faites dans le but de déterminer la couche où vont s'éteindre les *variations diurnes* du thermomètre. M. Muncke s'est occupé accidentellement de cette question [1]. Au moyen de trois thermomètres dont les boules étaient placées en terre à des profondeurs de 1, 5; 3 et 5 pieds, il a trouvé, près de Heidelberg, les résultats suivans :

1° L'influence des variations *diurnes* de la température extérieure, s'est fait sentir jusqu'à la profondeur de 1, 5 pieds, et n'a plus été sensible à 3 pieds au-dessous du sol.

2° Les influences *mensuelles* disparaissent à la profondeur de 5 pieds.

3° En soumettant les observations au calcul, les influences des variations *annuelles* doivent s'éteindre à 30 pieds de profondeur [2].

Si la théorie était d'accord avec l'expérience, on déduirait facilement la profondeur à laquelle les variations diurnes du thermomètre doivent s'éteindre, par l'observation des températures annuelles à différentes profondeurs, observation qui est plus facile et moins sujette à des anomalies que celle des variations diurnes.

Pour mieux faire comprendre nos idées, nous entrerons d'abord dans quelques détails au sujet du calcul des variations annuelles.

[1] *Dictionnaire de Gehler*, tome III, page 988.

[2] Nous ne voyons pas bien comment l'auteur a déduit ce résultat de ses observations. Il semble, d'après la théorie, qu'il faudrait lire 60 pieds, s'il est vrai que la variation diurne ne s'éteint qu'à 3 pieds de profondeur. M. Maurice de Genève a fait aussi des observations sur les variations du thermomètre entre la surface de la terre et 3 pieds de profondeur. Il en est parlé dans la *Bibliothèque universelle*, vol. 8, n° 4, an VI (1798); mais je ne connais pas les résultats généraux auxquels ce savant est parvenu. M. de Saussure dans ses *Voyages dans les Alpes*, tome III, a également fixé son attention sur les températures terrestres. Enfin nous devons citer encore les observations que M. W. Hamilton a présentées à l'académie royale d'Irlande, en 1788; M. Cordier a fait aussi des recherches intéressantes sur la chaleur terrestre, mais non dans la vue de déterminer les élémens qui nous occupent ici; c'est par ce motif que nous avons dû les passer sous silence de même que celles de MM. Kupffer, Fox, De la Rive et Marcet, etc.

Digitized by Google

D'après l'analyse, l'excès de la température la plus élevée sur la température la plus basse, pendant le cours d'une année, devient d'autant moindre qu'on pénètre plus avant au-dessous du sol, et les différences observées dans les couches successives, décroissent en progression géométrique pendant qu'on descend en progression arithmétique. Si l'on représente par $\triangle_p$, à la profondeur p, la différence entre la température annuelle la plus élevée et la température la plus basse, on aura

$$\log. \triangle_p = A + Bp. \ldots\ldots (\alpha).$$

A et B sont des valeurs constantes, que l'observation fait connaître. Il suffirait donc d'avoir observé avec soin les variations annuelles de deux thermomètres, placés à des profondeurs inégales, pour que la formule (α) fût complétement déterminée.

Si la formule précédente se vérifiait dans toute son étendue, A serait évidemment le logarithme de la différence des deux températures *maximum* et *minimum* observées à la surface de la terre, puisqu'on y aurait $p=0$. Quant à B qui est généralement négatif, on aurait $B = -\frac{A}{p}$ pour la couche où la différence des températures extrêmes de l'année n'est plus que d'un degré, puisque log. $\triangle_p$ y serait nul.

Une autre conséquence de cette formule, si elle se vérifiait rigoureusement, c'est qu'il n'y aurait pas de *couche invariable ;* mais on peut considérer comme telle, la couche où les variations annuelles ne tombent plus que sur la deuxième ou troisième décimale du chiffre qui indique la température centigrade moyenne de l'année. Or, en déterminant p sous la condition que la différence $\triangle_p$ des températures *maximum* et *minimum* ne soit plus que d'un centième de degré, on aura

$$\log. \triangle_p = \log. 0.01 = -2, \quad \text{et} \quad -2 = A + Bp ;$$

d'où l'on déduit

$$p = -\frac{2+A}{B} \ldots\ldots (\beta).$$

Or, quand on a déterminé ainsi la profondeur où les températures

Digitized by Google

annuelles n'éprouvent plus de variations sensibles, on en déduit facilement celle où les variations diurnes cessent également de se manifester ; car nous avons déjà vu que les profondeurs de ces couches sont comme les racines carrées des durées des périodes pendant lesquelles les variations s'accomplissent, et que par suite l'une est à peu près 19 fois plus rapprochée du sol que l'autre.

Il résulte encore des recherches analytiques faites sur les températures terrestres que :

1° Chaque point parvient soit à son *maximum* de chaleur, soit à la température moyenne, à une époque qui dépend de sa distance à la surface de la terre. Si l'on suivait cette température moyenne depuis l'instant où elle affecte un point donné de l'intérieur du globe, en passant avec elle dans les points inférieurs, ou parcourrait la verticale d'un mouvement uniforme [1].

2° La différence de la température actuelle à la température moyenne augmente proportionnellement au sinus du temps écoulé depuis l'instant où cette température moyenne avait lieu [2].

La formule qui détermine la température de la terre en fonction de la profondeur, est simple dans la pratique, mais ses constantes dépendent d'un grand nombre d'élémens qu'il sera bon de connaître. Voici comment elle est présentée dans la *Théorie mathématique de la chaleur* de M. Poisson, page 497,

$$H = \frac{2bh}{D}\left(\tfrac{1}{2}\pi \sin.\mu \sin.\gamma - 2\alpha Q\right) e^{-\frac{x\sqrt{\pi}}{a}}$$

H est l'excès du *maximum* sur le *minimum* que nous avons représenté par $\triangle_p$, et l'on voit, de plus, que nos constantes ont pour valeurs

$$A = \log.\frac{2bh}{D}\left(\tfrac{1}{2}\pi \sin.\mu \sin.\gamma - 2\alpha Q\right)$$

$$B = \frac{\sqrt{\pi}}{a} \log e.$$

[1] *Théorie du mouvement de la chaleur*, par Fourier, page 163.

[2] Même ouvrage, page 167.

Digitized by Google

or, γ est l'obliquité de l'écliptique,

μ la latitude du lieu,

π le rapport de la circonférence au diamètre,

α l'excentricité de l'orbite terrestre;

h une température constante, proportionnelle à l'intensité de la chaleur solaire, telle qu'elle est à la distance moyenne de la terre au soleil, et après avoir traversé l'atmosphère pour arriver au lieu d'observation.

$a = \sqrt{\frac{k}{c}}$, c étant la chaleur spécifique de la terre, et k sa conductibilité.

$b = \frac{p}{k}$, p étant une quantité positive, dépendante de la surface au point d'observation, et qui varierait avec les températures, si elles étaient élevées; $D^2 = b^2 + \frac{2b\sqrt{2\varpi}}{a} + \frac{2\pi}{a^2}$, où ϖ est la longitude du périgée.

Ainsi, dans notre formule (α), la constante A, qui exprime le logarithme de la différence des températures *maximum* et *minimum* de l'année à la surface du sol, dépend à la fois de la latitude du lieu, de la chaleur spécifique et de la conductibilité du sol, en faisant abstraction des élémens astronomiques qui seraient les mêmes pour les divers points du globe. La seconde constante B ne varie qu'avec la conductibilité et la chaleur spécifique du lieu d'observation; et il est facile de voir qu'elle est, dans les différens lieux de la terre, comme la racine carrée du rapport de la chaleur spécifique à la conductibilité.

Nous allons passer maintenant à la discussion des observations des températures terrestres que nous connaissons, et nous examinerons jusqu'à quel point elles s'accordent avec les résultats de la théorie.

Le plus ancien observateur connu qui se soit occupé, d'une manière suivie, des températures de la terre, est le marchand Ott de Zurich, qui, à partir de 1762, continua ses recherches pendant quatre années et demie, avec 7 thermomètres placés à diverses profondeurs. Le tableau suivant contient les moyennes des résultats observés; on n'y trouvera que les variations annuelles du thermomètre;

Digitized by Google

il ne paraît pas que l'auteur se soit occupé des variations diurnes. Nous devons du reste regretter ici plusieurs élémens importans. 1° On n'a pas eu égard à la correction que nous avons signalée et qui provient de ce que généralement le liquide contenu dans le tube du thermomètre, n'a pas la même température que celui de la boule. 2° Il n'est pas dit si le sol au-dessous duquel étaient les thermomètres, se trouvait ou non sous l'action directe du soleil. 3° On a aussi omis de dire si les températures ont été observées à une certaine heure du jour, ou si elles sont les moyennes de plusieurs observations successives faites pendant le jour.

Résultats moyens des observations faites à Zurich *par* Ott, *et continuées pendant quatre ans et demi, à partir de* 1762 [1].

MOIS.	DIVERSES PROFONDEURS AUXQUELLES LES THERMOMÈTRES ÉTAIENT ÉTABLIS.						
	1/4 PIED.	1/2 PIED.	1 PIED.	2 PIEDS.	3 PIEDS.	4 PIEDS.	6 PIEDS.
Janvier. . . .	0°,3	0°,5	1°,6	2°,5	3°,0	4°,3	7°,0
Février	0,6	0,2	1,5	2,3	2,8	4,4	5,5
Mars.	7,7	4,5	5,0	4,5	4,5	5,0	5,5
Avril.	11,7	8,8	8,8	8,1	8,1	7,2	7,2
Mai	14,8	13,2	13,2	11,7	11,6	11,4	10,0
Juin.	19,4	16,1	16,1	15,0	13,8	13,2	11,7
Juillet	19,5	17,7	16,6[2]	16,1	16,1	15,1	13,8
Août.	17,8	17,2	16,6	16,1	16,3	16,1	15,2
Septembre . . .	15,0	14,4	15,0	15,1	15,3	15,2	15,2
Octobre. . . .	10,6	10,4	10,6	10,5	11,7	12,0	13,4
Novembre . . .	5,0	5,6	6,1	8,0	8,8	9,4	11,6
Décembre . . .	2,2	2,0	2,7	4,0	5,0	7,2	9,4
MOYENNE. . .	10,4	9,3	9,4	9,4	9,7	10,1	10,5

1 Les tableaux complets ne paraissent pas avoir été publiés ; le résumé en a paru dans différens ouvrages et dans la *Météorologie de M. Pouillet*, page 642.

2 Il y a sans doute une faute d'impression chez M. Pouillet ; on lit 17,6, et plus loin il n'est

Digitized by Google

De ce tableau nous déduisons, pour les températures des mois les plus chauds et des mois les plus froids de l'année, les résultats qui suivent :

PROFONDEUR.	MAXIMUM.	MINIMUM.	DIFFÉRENCE.	DEMI-SOMME.
A l'air. . .	18,°7 centigrades .	— 2°,9 centigr. .	21°,6 cent.	7°,9
½ pied. . .	19,5 juillet . . .	— 0,6 février . .	20,1 . .	9,4
½ » . . .	17,7 » . . .	+ 0,2 » . .	17,5 . .	8,9
1 » . . .	16,6 août . . .	1,5 » . .	15,1 . .	9,0
2 » . . .	16,1 » . . .	2,3 » . .	13,8 . .	9,2
3 » . . .	16,3 » . . .	2,8 » . .	13,5 . .	9,5
4 » . . .	16,1 » . . .	4,4 » . .	11,7 . .	10,2
6 » . . .	15,2 septembre. .	5,5 » . .	9,7 . .	10,3

Nous voyons par ce tableau que :

1° Les *maxima* diffèrent bien moins entre eux que les *minima*, puisque, d'une part, la différence des températures indiquées par le thermomètre le plus haut et le thermomètre le plus bas, n'est que de 4°,3, et qu'elle est, de l'autre part, de 6°,1 ; ces discordances sont plus remarquables encore en comparant la marche du thermomètre le plus bas à celle du thermomètre placé à l'air libre ; on n'a pour différence des *maxima* que 3°,5, tandis que, pour différence des *minima*, on a 8°,4.

2° Les *maxima* et les *minima* ne suivent pas une marche uniforme; il semblerait qu'il y a solution de continuité, en passant de l'air libre au-dessous de la surface du sol.

3° La différence des températures extrêmes diminue, à mesure qu'on descend plus bas.

4° Les époques des *maxima* et des *minima* reculent d'autant plus qu'on s'abaisse à des profondeurs plus grandes.

5° La température moyenne de Zurich est de 8°,8 centigrades; cette moyenne prise par rapport aux mois le plus chaud et le plus

donné que 16°,6 pour le mois le plus chaud, d'après la même série d'observations. La moyenne de l'année indique aussi qu'il faut 16,6. Je n'ai pas les moyens de vérification nécessaires, mais je crains qu'il ne se soit encore glissé d'autres erreurs dans les nombres.

Digitized by Google

froid de l'année serait un peu moindre, mais elle est sensiblement égale à celle qui a été observée à $\frac{1}{2}$ pied de profondeur[1], puis sa valeur va croissant à mesure qu'on s'enfonce au-dessous du sol, et d'une manière plus rapide que ne l'indique la théorie, eu égard à la chaleur du globe et abstraction faite des variations diurnes et annuelles.

6° Si l'on compare la température moyenne des différens mois de l'année, aux températures moyennes déterminées de la même manière à l'aide des thermomètres enfoncés en terre, on trouve sa valeur moins grande, et l'on reconnait encore une progression croissante dans les températures des thermomètres, à mesure qu'ils sont placés plus bas. Mais le thermomètre placé à $\frac{1}{4}$ de pied de profondeur semble encore faire anomalie, soit que le zéro de son échelle fût placé trop haut, soit qu'il y ait effectivement un *maximum* de température dans cette couche, soit enfin, comme nous en avons fait la remarque, que cette anomalie apparente dépende des heures des observations.

7° Quoique les dates précises des *maxima* et des *minima* ne soient pas indiquées, on remarquera cependant que février a été le mois le plus froid pour tous les thermomètres, tandis que le mois le plus chaud a été juillet, août, ou septembre, selon les indications des thermomètres les plus ou moins enfoncés en terre. En portant à 1 mois ou $1\frac{1}{2}$ mois le temps de transmission de la température, depuis la surface du sol jusqu'à la profondeur de 6 pieds où était le thermomètre le plus bas, on aurait de cinq à sept jours environ pour le temps employé par la température à traverser une couche de terre d'un pied d'épaisseur, et en supposant la vitesse de transmission uniforme.

Nous nous occuperons maintenant de rechercher la formule qui peut représenter les différences observées des mois le plus chaud et le plus froid de l'année. Afin de mieux juger de la facilité avec laquelle la formule (α) se prête au calcul, nous avons successivement fait concourir à la détermination des constantes les résultats de l'ob-

[1] Le thermomètre placé à 1/4 de pied de profondeur semble former ici une anomalie; il paraîtrait que sa hauteur devrait être moindre; cette discordance peut tenir aux heures des observations qui étaient peut-être celles de son *maximum*, tandis que le contraire avait lieu plus bas.

Digitized by Google

servation du thermomètre placé à la plus grande profondeur avec les résultats observés au moyen des thermomètres placés à $\frac{1}{4}$ pied, $\frac{1}{2}$ pied et à un pied de profondeur; ces trois combinaisons ont donné les formules suivantes, en prenant pour unité le pied,

$$\begin{aligned} \text{Log. } \triangle_p &= 1{,}31695 - 0{,}05500\ p \\ &= 1{,}26534 - 0{,}04659\ p \\ &= 1{,}21741 - 0{,}03844\ p, \end{aligned}$$

d'où ont été déduites les valeurs de ce tableau :

PROFONDEUR.	DIFFÉRENCES observées.	DIFFÉRENCES CALCULÉES PAR LA		
		1re FORMULE.	2me FORMULE.	3me FORMULE.
Surface.	21°,6	20°,7	18°,4	16°,5
$\frac{1}{4}$ pied.	20,1	20,1	17,9	16,2
$\frac{1}{2}$ »	17,5	19,4	17,5	15,8
1 »	15,1	18,3	16,5	15,1
2 »	13,8	16,1	14,9	13,8
3 »	13,5	14,2	13,4	12,7
4 »	11,7	12,5	12,1	11,6
6 »	9,7	9,7	9,7	9,7

La marche la plus simple eût sans doute été d'employer la méthode des moindres carrés, mais elle n'aurait pas répondu à notre objet qui était de montrer comment la formule se prête à des observations isolées, et de savoir jusqu'à quel point on pourrait s'y fier si l'on n'avait employé que deux thermomètres.

La formule qui emploie l'observation du thermomètre placé à $\frac{1}{4}$ de pied de profondeur, satisfait le moins bien aux autres valeurs observées ; c'est la troisième qu'il faudrait préférer, surtout si l'on n'avait égard qu'aux thermomètres qui sont placés plus bas qu'un

Digitized by Google

pied de profondeur; et qui, par là, se trouvent moins sous l'influence des variations diurnes de la température [1].

Si l'on recherche, au moyen des formules précédentes, les profondeurs pour lesquelles les variations annuelles ne sont plus que de 1°, de 0°1 et 0°01 du thermomètre, on trouve

DIFFÉRENCE.	PROFONDEUR CALCULÉE.			MOYENNE.
	1re FORMULE.	2me FORMULE.	3me FORMULE.	
1°, cent. . . .	23;0 pieds.	27;2 pieds.	31;6 pieds.	27;3 pieds.
0°,1 » . . .	42,1 »	48,6 »	57,7 »	49,5 »
0°,01 » . . .	60,3 »	70,1 »	83,7 »	71,4 »

De ces résultats, on peut conclure que, de 23 à 32 pieds, le thermomètre pouvait subir des variations de près d'un degré dans le cours de l'année; que ces variations n'étaient plus guère que d'un dixième de degré entre 42 et 58 pieds de profondeur, et insensibles entre 60 et 84 pieds. Par suite on peut conclure, d'après ce que nous avons déjà dit précédemment, qu'il faut s'enfoncer au moins à trois pieds de profondeur pour qu'à Zurich, on arrive jusqu'à la couche où les variations diurnes sont insensibles.

Une autre série d'observations, non moins importante que celle de Zurich, a été faite à Leith, près d'Edimbourg, pendant les années 1816 et 1817. M. Leslie [2] a employé à cet effet quatre thermomètres

[1] On peut très-bien reconnaître du reste, par une construction, que les résultats observés, ou ne sont pas totalement exempts de tout reproche sous le rapport de l'exactitude, ou qu'il existait des accidens de terrain qui produisaient des anomalies dans la transmission de la chaleur: voyez la figure III, qui représente les valeurs observées et les valeurs calculées pour Zurich. Les deux thermomètres placés dans le voisinage du sol, semblent surtout faire anomalie; leurs indications sont probablement compliquées des effets de la variation diurne.

[2] M. Whewell fait observer que c'est par erreur qu'on a attribué à M. Fergusson les observations de Leslie, page 80 de son Rapport sur les progrès des théories mathématiques de l'électricité, du magnétisme et de la chaleur, 5e *rapport de l'Association britannique*, séance de Dublin. L'on trouve dans les volumes de cette Association plusieurs autres rapports très-intéressans sur l'état de la science eu égard aux températures et à la théorie générale de la chaleur; nous citerons en particulier les rapports de MM. Forbes et Powell.

Digitized by Google

à mercure d'inégale longueur. Les résultats de ces observations ont été publiés dans le *Dictionnaire de chimie* du docteur Ure, et reproduits dans les *Élémens de physique* de M. Pouillet, ainsi que dans la *météorologie* de M. Kæmtz, mais d'une manière peu concordante. Un autre inconvénient plus grave, c'est que ces deux physiciens ne sont pas d'accord sur les profondeurs où étaient placés les thermomètres; M. Kæmtz indique 1, 2, 3 et 4 pieds, tandis que M. Pouillet marque 1, 2, 4 et 8 pieds. N'ayant pas eu l'occasion de consulter directement l'ouvrage du docteur Ure, je me suis adressé à ce savant qui a eu l'obligeance de me faire parvenir les nombres originaux que je reproduis ici, en les réduisant en mesure métrique. M. Ure ajoute à ces renseignemens que le lieu où se faisaient les observations, est à 50 pieds au-dessus du niveau de la mer.

Nous devons faire observer que nous retrouvons ici toutes les lacunes qui se sont présentées au sujet des observations de Zurich, relativement à l'exposition, aux heures des observations et aux corrections à faire pour l'inégalité de température dans toute l'étendue du thermomètre.

MOIS.	TEMPÉRATURE DE LA TERRE OBSERVÉE A ÉDIMBOURG.								MOYENNE DES DEUX ANNÉES d'observation.			
	1816.				1817.							
	1 pied.	2 pieds.	4 pieds.	8 pieds	1 pied.	2 pieds.	4 pieds.	8 pieds.	1 pied.	2 pieds.	4 pieds.	8 pieds.
Janvier.	0°,56	2°,39	4°,83	6°,11	2°,00	3°,72	4°,72	7°,27	1°,28	3°,05	4°,78	6°,69
Fév . .	0,95	2,22	3,89	5,56	2,78	4,44	5,33	5,95	1,86	3,33	4,61	5,75
Mars. .	1,67	2,61	4,22	5,73	4,11	4,55	5,39	5,84	2,89	3,58	4,80	5,78
Avril .	4,28	3,55	5,22	6,56	7,22	5,78	5,89	5,89	5,75	4,67	5,55	6,22
Mai . .	6,67	6,28	6,33	6,67	8,23	7,06	7,00	6,78	7,45	6,67	6,66	6,72
Juin. .	10,89	10,00	8,38	7,67	10,61	9,66	8,66	8,78	10,75	9,83	8,52	8,22
Juillet .	12,22	11,39	10,78	8,72	12,89	12,78	10,78	9,77	12,56	12,09	10,78	9,34
Août. .	10,00	11,39	10,33	9,66	11,89	12,17	11,11	10,00	10,94	11,78	10,72	9,83
Septem.	10,89	10,73	11,01	10,00	11,67	11,50	11,11	10,39	11,28	11,11	11,06	10,19
Octobre.	8,33	9,61	9,83	9,77	7,61	9,66	9,66	9,89	7,97	9,63	9,74	9,83
Novemb.	4,44	6,56	7,95	7,55	5,00	7,06	8,33	8,66	4,72	6,81	8,14	8,10
Décemb.	1,95	4,44	6,11	7,78	3,28	4,89	7,17	8,00	2,61	4,67	6,64	7,89
MOYENNE.	6,07	6,76	7,41	7,65	7,27	7,77	7,93	8,10	6,67	7,27	7,67	7,87

Digitized by Google

En prenant les différences de température des mois les plus chauds et les plus froids, on obtient d'après les tableaux d'Edimbourg :

PROFONDEUR.	MAXIMUM.	MINIMUM.	DIFFÉRENCE.	DEMI-SOMME.
A l'air. . .	15°,20 centigrades .	3°,50 centig. .	11°,70 cent.	9,°35
1 pied. . .	12,56	1,28	11,28 . .	6,92
2 » . . .	12,09	3,05	9,04 . .	7,57
4 » . . .	11,06	4,61	6,45 . .	7,84
8 » . . .	10,19	5,75	4,44 . .	7,97

Si nous ne considérons ici que les températures au-dessous du sol, nous trouvons que :

1° Pour Edimbourg comme pour Zurich, les *maxima* diffèrent bien moins entre eux que les *minima*.

2° La différence des températures extrêmes diminue à mesure qu'on descend au-dessous du sol.

3° Les époques des *maxima* et des *minima* reculent d'autant plus qu'on s'abaisse à des profondeurs plus grandes.

4° La température moyenne d'Edimbourg est de 8°,8; la moyenne température du mois le plus chaud et du mois le plus froid de l'année serait un peu plus grande, et elle surpasserait de près de deux degrés la température moyenne prise, de la même manière, par rapport aux couches inférieures; mais ici l'on trouve, comme par les observations de Zurich, que les moyennes des deux températures extrêmes vont en augmentant avec les profondeurs.

5° Si l'on compare entre elles les températures moyennes des mois de l'année, aux différentes profondeurs, on trouve qu'elles suivent encore une progression croissante; mais ici leurs valeurs sont moindres que celles de la température moyenne de l'année observée à l'air libre.

M. Kæmtz s'est occupé de déterminer les constantes de la formule (α) qui établit la relation entre les profondeurs et les différences de température extrêmes correspondantes, mais ses résultats sont évidemment inexacts, puisqu'il a supposé que les profondeurs auxquelles descendaient les boules des thermomètres, étaient 1, 2, 3 et 4 pieds,

Digitized by Google

au lieu de 1, 2, 4 et 8, t. II, p. 184. J'ai rétabli la formule dans l'hypothèse des profondeurs véritables; et, en employant à la détermination des constantes les températures des thermomètres extrêmes, c'est-à-dire de celui placé à l'air libre et de celui dont la boule était à 8 pieds de profondeur, les résultats du calcul ont été les suivans :

PROFONDEUR.	DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE		ÉCARTS.
	OBSERVÉE.	CALCULÉE.	
A l'air.	11°,70	11°,70	0°,00
1 pied.	11,28	10,37	+0,91
2 »	9,04	9,18	—0,14
4 »	6,45	7,21	—0,66
8 »	4,44	4,44	0,00

Voici la formule qui a donné les valeurs calculées,

$$\text{Log. } \triangle_p = 1{,}06819 - 0{,}05260\ p.$$

De cette même formule on déduit que la différence des températures extrêmes de l'année ne serait plus que d'un degré à la profondeur de 20,3 pieds, d'un dixième de degré à la profondeur de 39,3 pieds, et enfin d'un centième de degré à la profondeur de 58,3 pieds; de ce dernier résultat on peut conclure que les variations diurnes seraient inappréciables à une profondeur de trois pieds.

Une troisième série d'observations a été faite à Strasbourg pendant les années 1821, 1822 et 1823, par M. Herrenschneider, mais avec un thermomètre seulement, enfoncé en terre à la profondeur de 15 pieds. On en trouvera les résultats dans le tableau qui suit; nous ferons remarquer qu'ici surtout, à cause de la longueur du thermomètre, il était indispensable d'avoir égard à l'inégalité de température dans toute l'étendue de l'instrument.

Digitized by Google

MOIS.	TEMPÉRATURE DE LA TERRE OBSERVÉE A STRASBOURG. [1]			
	1821.	1822.	1823.	MOYENNE.
Janvier	7°,18	8°,91	6°,56	7°,55
Février	5,62	8,12	6,73	6,82
Mars	7,57	8,43	7,35	7,78
Avril	7,50	9,00	7,97	8,16
Mai.	7,96	9,35	9,37	9,06
Juin	9,20	10,75	10,93	10,29
Juillet.	9,68	11,25	10,62	10,52
Août	10,77	12,08	11,56	11,47
Septembre.	11,25	12,18	11,25	11,56
Octobre	11,09	11,43	10,93	11,15
Novembre.	10,47	10,00	9,37	9,95
Décembre.	9,83	7,35	9,53	8,90
MOYENNE	9,01	9,94	9,34	9,43

La science a peu d'avantages à recueillir des observations précédentes. On trouve néanmoins que les époques du *maximum* et du *minimum* de température, subissent à cette profondeur des retards assez considérables, et que la variation annuelle y est très-faible. Si la théorie s'accordait avec l'observation, on pourrait employer avec les valeurs observées à l'air libre celles qui ont été obtenues au moyen du thermomètre de 15 pieds de longueur, pour déterminer le lieu où commence la couche invariable des températures, mais les résultats qu'on obtiendrait ainsi, ne pourraient être considérés que comme des approximations grossières. J'ai eu la curiosité de calculer cette formule qui devient, en prenant $+17°,0$ et $-2°,0$ pour les températures extrêmes à l'air libre [2],

$$\triangle_p = 1{,}27875 - 0{,}04020\ p.$$

[1] Pouillet, tome II, 2me partie, page 644.

[2] Ibid.

Digitized by Google

On en déduit que la différence des températures extrêmes, pendant l'année, ne serait plus que d'un degré à la profondeur de 31 pieds environ, d'un dixième de degré à la profondeur de 56 pieds, et d'un centième de degré ou inappréciable à la profondeur de 81 pieds, à peu près comme pour Zurich. Les variations diurnes ne devraient être éteintes qu'à la profondeur de 4 pieds : M. Muncke a trouvé 3 pieds pour Heidelberg qui est peu éloigné de Strasbourg.

En résumant les observations précédentes sous le rapport du temps employé par la température à pénétrer successivement à des profondeurs plus grandes, M. Pouillet a été conduit aux conclusions suivantes, t. II, p. 644 :

1° Au mois d'août, la température de la terre va en décroissant d'une manière à peu près uniforme depuis la surface du sol jusqu'à la couche invariable ;

2° Pendant le mois de septembre, la température est à peu près uniforme depuis la surface du sol jusqu'à la profondeur de 15 à 20 pieds ; plus bas, elle décroît un peu et lentement jusqu'à la couche invariable ;

3° Pendant les mois d'octobre et de novembre, la température va en croissant, depuis la surface du sol jusqu'à une profondeur de 15 à 20 pieds ; plus bas, elle se trouve à peu près égale à la température de la couche invariable ;

4° Pendant les mois de décembre, de janvier et de février, la température va en croissant d'une manière à peu près uniforme, depuis la surface du sol jusqu'à la couche invariable ;

5° Pendant les mois de mars et d'avril, la température va en décroissant très-rapidement jusqu'à la profondeur d'un ou deux pieds ; plus bas, elle décroît moins vite, et finit par devenir croissante ;

6° Pendant les mois de mai, juin et juillet, la température est encore décroissante, mais moins rapidement et jusqu'à une profondeur plus grande ; puis, elle redevient encore un peu croissante pour regagner la température de la couche invariable.

En adoptant comme points de départ les jours des températures

Digitized by Google

moyennes et extrêmes à l'air, tels que les donne l'observation, M. Kæmtz a déterminé les temps que les températures emploieraient à descendre successivement aux couches inférieures. Voici le tableau qu'il donne, sans indiquer la base de son calcul [1].

PROFONDEUR.	MINIMUM.	MOYENNE.	MAXIMUM.	MOYENNE.
Air libre	12 janvier. .	27 avril. .	27 juillet. .	23 octobre.
1 pied de prof. . .	25 » . .	30 » . .	2 août . .	28 »
2 » »	11 février. .	12 mai . .	8 » . .	8 novembre.
3 » »	23 » . .	28 » . .	22 » . .	16 »
4 » »	15 mars . .	10 juin . .	6 septemb.	6 décembre.

Nous rapprocherons de ces résultats ceux qui ont été observés par M. Muncke à Heidelberg [2].

ANNÉES.	ÉPOQUES	
	DU MAXIMUM.	DU MINIMUM.
Therm. de 1,5 pied.		
1821	26 août	2 janvier.
1822	9 juin.	14 »
1823	31 août.	14 »
1824	15 juillet	19 »
1826	5 »	— »
MOYENNE	24 juillet	12 janvier.
Therm. de 5 pieds.		
1821	7 septembre.	21 février.
1822	10 juillet	1 »
1823	7 septembre. . . .	9 »
1824	12 août.	4 »
1826	30 »	— »
MOYENNE	20 août	9 février.

[1] Tome II, page 186.

[2] *Dictionnaire de Gehler*, tome III, page 988.

Digitized by Google

Il suivrait des observations de M. Muncke, que les *maxima* et *minima* à l'air libre ont dû se présenter un peu plus tôt que ne l'indique le tableau de M. Kæmtz[1]; il est fâcheux que leurs époques ne soient point marquées. Quoi qu'il en soit, le *minimum* de température a employé 28 jours, du 12 janvier au 9 février, à passer de la profondeur de 1,5 pieds à 5 pieds, ce qui est un temps moins long que celui indiqué dans le tableau calculé. Le *maximum* a employé 27 jours, du 24 juillet au 20 août, à passer du premier au second thermomètre; cette période est aussi moins longue que celle qui résulte du tableau calculé. Les résultats de M. Muncke tendent donc à établir que la chaleur *maximum* a parcouru $3\frac{1}{2}$ pieds en 27 à 28 jours; c'est environ 1 pied par 8 jours. D'après M. Kæmtz, il faudrait compter plus de 11 jours pour la transmission de la chaleur à 1 pied de profondeur.

Nous ne possédons que des indications imparfaites sur les époques des *maxima* et *minima* des températures à Zurich, et nous n'en avons pas pour Strasbourg; mais nous avons celles pour Édimbourg, qui sont :

PROFONDEUR.	MAXIMUM POUR 1816.	MINIMUM.
1 pied.	21 juillet.	0 février.
2 »	24 »	4 »
4 »	0 août	11 »
8 »	14 septembre	16 »
	POUR 1817.	
1 »	5 juillet.	0 janvier.
2 »	10 »	»
4 »	? août[2]	3 février.
8 »	20 septembre	11 »
	MOYENNE.	
1 »	13 juillet.	15 janvier.
2 »	17 »	17 »
4 »	0 août	7 février.
8 »	17 septembre	13 »

[1] Il paraît du reste que, pour ce thermomètre, les indications sont plutôt relatives aux variations diurnes qui sont encore très-fortes à cette profondeur, qu'aux variations annuelles.

[2] L'indication manque, Pouillet, t. II, p. 648.

Digitized by Google

Ces nombres également s'accordent assez peu avec ceux du tableau de M. Kæmtz. La durée pour la transmission de la chaleur *maximum*, du premier au quatrième thermomètre, a été de 66 jours; et, pour le *minimum*, de 29 jours; ce qui donne, pour valeur moyenne, 47 jours employés par la température à traverser une couche de 7 pieds anglais d'épaisseur, ou 1 pied par 7 jours environ.

Dans ces derniers temps, M. Rudberg, professeur à l'université d'Upsal, a fait également des observations sur la température de la terre, au moyen de trois thermomètres placés à des profondeurs de 1, 2 et 3 pieds, au milieu d'une grande plaine où se trouve l'observatoire. Les observations ont commencé au mois de décembre 1832, cependant les résultats de celles qui suivent, ne datent que de six mois après, et sont les moyennes des observations faites à 6 heures du matin et à 2 et 9 heures du soir.

MOIS.	TEMPÉRATURE DE LA TERRE A UPSAL, A LA PROFONDEUR DE		
	UN PIED.	DEUX PIEDS.	TROIS PIEDS.
Juillet 1833	+ 15°,86 cent.	+ 15°,00 cent.	+ 13°,87 cent.
Août.	13,12 »	13,03 »	12,88 »
Septembre	12,18 »	12,01 »	11,93 »
Octobre.	8,97 »	9,08 »	9,59 »
Novembre	3,89 »	4,62 »	5,67 »
Décembre	0,81 »	1,77 »	2,78 »
Janvier 1834	— 1,51 »	— 0,42 »	0,40 »
Février	— 0,38 »	— 0,02 »	0,24 »
Mars.	+ 0,35 »	+ 0,63 »	0,80 »
Avril	3,36 »	3,02 »	2,74 »
Mai	8,90 »	8,09 »	7,28 »
Juin.	13,65 »	12,50 »	11,29 »

Si l'on prend la moyenne des valeurs pour chacun de ces thermomè-

Digitized by Google

tres, on obtient pour la température de l'année, à Stockholm :

A 1 pied de profondeur.	6,60	centigrades.
A 2 pieds »	6,61	»
A 3 pieds »	6,62	»

M. Rudberg conclut de ces nombres que la température moyenne de la terre, du moins jusqu'à 3 pieds d'enfoncement, se trouve indépendante de la profondeur; et il pense que probablement ceci a lieu, pour toutes les profondeurs, jusqu'aux limites où cessent les variations annuelles de la température. Ce résultat, comme nous l'avons vu, ne serait pas tout-à-fait d'accord avec ceux qui ont été cités plus haut.

Notre tableau, ajoute encore l'auteur, montre, en outre, que la température, vers la fin de septembre et vers la fin de mars, ou vers les époques des équinoxes de l'automne et du printemps, est la même à différentes profondeurs.

Il est à remarquer que la température moyenne au-dessous de la surface du sol a été supérieure à la température de l'air qui était de $+5°,7$.

Si l'on prend les différences de températures du mois le plus chaud et du mois le plus froid, on a :

THERMOMÈTRE.	MAXIMUM.	MINIMUM.	DIFFÉRENCE.	DEMI-SOMME.
	—	—	—	—
	°	°	°	°
A 1 pied de prof. . . .	15,86	— 1,51	17,37	7,17
2 » » . . .	15,00	— 0,42	15,42	7,29
3 » » . . .	13,87	+ 0,24	13,63	7,06

En faisant concourir les différences données par le premier et le troisième thermomètre, à la détermination des constantes de la formule (α) qui donne le décroissement de température dans l'intérieur de la terre, on a :

$$\text{Log. } \triangle_p = 1{,}29245 - 0{,}05265\ p.$$

On en déduit pour la différence des températures extrêmes que devait indiquer le second thermomètre, $15°,39$; valeur qui ne diffère

Digitized by Google

que de trois centièmes de degré de 15°,42 qui ont été effectivement observés, *fig.* III. Les profondeurs pour lesquelles les variations annuelles de la température ne seraient plus, d'après la formule, que de 1°, 0°,1 et 0°,01, se trouveraient respectivement à 24,6 pieds, 43,5 et 62,5. D'où l'on voit en même temps que les variations diurnes, à trois pieds au-dessous du sol, doivent être à peu près absolument insensibles.

En résumé, les profondeurs auxquelles les variations annuelles peuvent être considérées comme nulles, se trouveraient d'après nos calculs précédens,

Pour	Heidelberg [1]	à	60,0	pieds?
»	Zurich.		83,7	»
»	Édimbourg		58,3	»
»	Strasbourg		81,0	»
»	Upsal		62,5	»

Ces nombres laissent sans doute beaucoup d'incertitude, celui calculé pour Heidelberg particulièrement; cependant nous pouvons les prendre comme une première approximation qui donne pour moyenne 69 pieds environ. Cette limite, même celle de 84 pieds pour Zurich, est bien inférieure à celle que Fourier semble supposer dans le discours préliminaire de sa *Théorie de la chaleur.* « On ne peut, » dit ce savant géomètre, remarquer aucune variation diurne à la pro» fondeur d'environ trois mètres; et les variations annuelles cessent » d'être appréciables à une profondeur beaucoup moindre que 60 m. »

Pour compléter l'aperçu des travaux qui ont été entrepris relativement aux températures terrestres, il me reste à parler maintenant d'une série importante d'observations qui ont été faites par M. Arago, à l'observatoire royal de Paris, mais qui malheureusement n'ont pas été publiées jusqu'à présent. M. Poisson, dans sa *Théorie mathématique de la chaleur* [2], qui a paru pendant la composition de ce mémoire,

[1] Nous admettons ici le nombre déduit de la profondeur à laquelle s'éteint la variation diurne, et non le nombre donné par l'auteur. Pour Zurich, nous prenons le nombre donné par les thermomètres placés hors de l'influence des variations diurnes les plus fortes.

[2] 1 vol. in-4°, à Paris, chez Bachelier, 1835. *Voyez* pages 500 et suivantes.

Digitized by Google

en a fait connaître quelques-uns des principaux résultats, que nous allons rapporter : « Pour comparer la température calculée à la tem-» pérature observée, il faudrait, dit M. Poisson, faire subir à celle-ci » une certaine correction dépendante du rapport des volumes de » liquide que renferment la tige et la boule de chaque thermomètre. » On s'occupe actuellement de cette correction; afin de pouvoir faire » usage des observations non corrigées que M. Arago m'a communi-» quées, je supposerai que leurs corrections soient peu considéra-» bles. » Nous suivrons ici l'exemple du savant géomètre français : nous verrons du reste bientôt, par les observations de Bruxelles, que les résultats observés et les résultats réduits diffèrent très-peu, si l'on a égard plutôt aux moyennes générales qu'aux indications individuelles et aux époques des *maxima* et des *minima* des températures.

Considérons d'abord les indications des thermomètres aux différentes profondeurs, et déterminons les deux constantes de notre formule, en employant, comme l'a fait M. Poisson, les nombres donnés par les deux thermomètres dont les boules descendaient le plus bas. Or, d'après la moyenne de quatre années, l'excès du *maximum* sur le *minimum* des températures annuelles a été de 1°,414 à la profondeur de 8^{m},121, et de 2°,482 à celle de 6^{m},497. En prenant le mètre pour unité, on aura :

$$\text{Log. } \triangle_p = 1{,}87233 - 0{,}15046\ p\ ^{1}.$$

D'où l'on déduit les valeurs suivantes :

PROFONDEUR.	TEMPÉRATURE A PARIS		ÉCARTS.
	OBSERVÉE.	CALCULÉE.	
A l'air	16°,870	23°,569	— 6°,699
5 pieds ou 1^{m},624 . . .	13,017	13,429	— 0,412
10 » 3^{m},248 . . .	7,800	7,650	+ 0,150
20 » 6^{m},497 . . .	2,482	2,482	0,000
25 » 8^{m},121 . . .	1,414	1,414	0,000

[1] Quand, au lieu de mètres, on emploie des pieds, la formule devient

$$\text{Log. } \triangle_p = 1{,}86348 - 0{,}04856\ p.$$

Digitized by Google

Les résultats calculés et observés s'accordent très-bien pour ce qui concerne l'intérieur de la terre, *fig.* III; il n'en est plus de même à l'air libre, l'excès du *maximum* sur le *minimum* qui est de 23°,57, est beaucoup plus grand par le calcul que par l'observation. « On peut re-» marquer, dit M. Poisson, que cet excès surpasse de près de moitié » la différence 18°,79—1°,92, des températures des mois de juillet » et janvier, marquées par le thermomètre suspendu dans l'air; ce qui » n'empêche pas que la moyenne des températures qu'il indique » pendant l'année entière, ne diffère très-peu de celle de la surface. »

La formule donnée plus haut montre que l'excès du *maximum* sur le *minimum* de température de l'année ne serait plus que de 1° à 9^{m},12 de profondeur, de 0°,1 à 15^{m},8 et de 0°,01 seulement à 22^{m},4 ou à 67,8 pieds de profondeur; ce qui s'accorde assez bien avec ce qui a été vu précédemment, pour d'autres lieux que Paris.

Quant à ce qui concerne les époques des *maxima* et des *minima* pour les deux thermomètres placés à 6^{m},497 et 8^{m},121 de profondeur, les seules dont il soit parlé dans l'ouvrage de M. Poisson, voici les résultats observés et calculés :

PROFONDEUR.	ÉPOQUE DU MAXIMUM		ÉPOQUE DU MINIMUM	
	OBSERVÉ.	CALCULÉ.	OBSERVÉ.	CALCULÉ.
6^{m},497	15 novembre.	14 novembre.	10 mai. . .	12 mai.
8^{m},121	18 décembre.	16 décembre.	13 juin. . .	14 juin.

Cette concordance est très-remarquable, surtout si l'on considère la difficulté d'observer l'époque précise des plus grandes excursions de la colonne thermométrique, pour des profondeurs où l'instrument est quelquefois stationnaire pendant un assez grand nombre de jours, et où il ne subit que les influences des températures extérieures qui agissent sur l'extrémité du tube voisine de la surface du sol. Cette concordance du reste, doit disparaître en partie, si l'on considère que les observations de Paris n'ont pas été réduites pour les effets de l'iné-

Digitized by Google

galité de température de la boule et de la tige des thermomètres. Les valeurs précédentes porteraient à 144 jours environ la durée de temps employé par la température à se transmettre à travers une couche de terre de $8^m,121$ ou 25 pieds d'épaisseur; ce qui donne un peu plus de 6 pieds pour six jours.

2. *Observations des variations diurne et annuelle de la température de la terre à Bruxelles.*

J'ai indiqué précédemment les résultats de toutes les observations des températures terrestres qui sont parvenus à ma connaissance; et j'ai fait remarquer que les physiciens à qui on les doit, ne semblent pas avoir eu égard aux inégalités de température que subissent nécessairement dans toute leur étendue, des instrumens plongés à des profondeurs plus ou moins grandes; aucun d'eux, du moins d'après ce que j'ai pu voir, n'a fait de corrections à ses résultats [1]. On conçoit cependant qu'un thermomètre dont la boule, plongée à 18 pieds de profondeur, marque 10 ou 12 degrés, tandis que la partie supérieure de son échelle se trouve dans un milieu dont la température pourrait différer d'une vingtaine de degrés, ne donnerait que des indications fautives. Les erreurs que l'on peut commettre sont faibles en général quand le thermomètre n'a que quelques pieds de longueur, mais elles sont extrêmement sensibles pour les thermomètres qui descendent à de grandes profondeurs; elles le sont même à tel point, comme nous le verrons bientôt, que les termes *maximum* et *minimum* peuvent être déplacés d'un à deux mois. Dans la vue d'estimer directement ces corrections, M. Arago a fait construire des tubes de même longueur et de même calibre que ceux de ses thermomètres, de telle manière qu'ils représentent à peu près identiquement ces thermomètres, dont ils ne diffèrent que par l'absence de boule. Il devient facile ensuite par la comparaison des deux instrumens, d'es-

[1] Je ne parle point ici des observations de Paris, puisqu'on s'occupe de les corriger en ce moment.

Digitized by Google

timer la correction qu'il convient d'apporter à la valeur observée.

Avant de commencer mes observations sur les thermomètres de moindre dimension, j'avais eu connaissance de ce mode d'observer par M. Arago lui-même, qui avait bien voulu me donner à ce sujet tous les renseignemens désirables; et j'avais en conséquence suivi une marche semblable à la sienne. Cependant comme, pour de faibles profondeurs, les corrections sont généralement très-petites et difficiles à lire sur les tubes de correction, j'ai employé un procédé un peu différent qui m'a paru donner des résultats plus satisfaisans. Mes différens thermomètres sont placés, au nord et à l'ombre, dans un même plan, les uns à côté des autres, à peu près comme les tuyaux d'un orgue; j'ai pris le parti alors de faire les réductions par la connaissance de la température de chaque couche de terre dans laquelle se trouve plongée une boule de thermomètre, en commençant par les couches supérieures.

Pour comprendre ce mode de réduction, supposons des plans parallèles et horizontaux passant par les boules de chacun des thermomètres plongés en terre; il est évident qu'entre la surface du sol et le plan parallèle le plus bas, nous aurons autant de couches horizontales qu'il y a de boules de thermomètres; cela posé, représentons par

S, la partie de la colonne thermométrique élevée au-dessus du sol.

A_1, la partie comprise entre le sol et le plan horizontal passant par la 1re boule therm.

A_2, la partie comprise entre les plans horizontaux passant par la 1re et la 2me boule.

A_n, la partie comprise en général entre les deux plans horizontaux consécutifs, passant par les $n-1^e$ et n^e boules thermométriques.

Il s'ensuivra que le thermomètre $n^{ième}$ aura son tube partagé en n parties, plus celle S qui s'élève au-dessus du sol: de manière que la colonne thermométrique $= S + A_1 + A_2 + \ldots\ldots + A_n$.

Or, il est évident que, pour que le thermomètre eût une indication exacte, il faudrait que chacune de ses parties fût à la même température, comme s'il était placé horizontalement dans la couche où se trouve sa boule. Cette température corrigée, si l'on pouvait faire les

Digitized by Google

réductions en toute rigueur, s'écarterait peu de celle de la boule, dont le liquide surpasse de beaucoup celui contenu dans le tube. La méthode de réduction que j'ai employée consiste, d'après cela, à faire que chacune des parties du tube thermométrique ait la même température que la boule. Ce procédé pour être sensiblement exact, suppose que le calibre du tube soit bien connu dans toute son étendue, et de plus que le liquide qu'il contient forme un volume peu considérable en comparaison de celui contenu dans la boule.

Cherchons maintenant la formule générale de réduction; et, à cet effet, nommons respectivement s, a_1, a_2, a_3, ... a_n les températures indiquées par les thermomètres placés, le premier au-dessus du sol et les autres, dans l'intérieur de la terre, immédiatement au-dessous des couches A_1, A_2, A_3,.... A_n, nous aurons pour le $n^{ième}$ thermomètre :

Différence de la température de la boule du thermomètre et de la température de la couche moyenne pour . .

$$\left\{\begin{array}{l} S = s - a_n \\ A_1 = \dfrac{s + a_1}{2} - a_n \\ A_2 = \dfrac{a_1 + a_2}{2} - a_n \\ \vdots \\ A_m = \dfrac{a_{m-1} + a_m}{2} - a_n \\ \vdots \\ A_n = \dfrac{a_{n-1} + a_n}{2} - a_n = \dfrac{a_{n-1} - a_n}{2}. \end{array}\right.$$

Nous supposons, dans ces formules, que la température de la boule a_n est moindre que chacune des températures des couches supérieures; s'il en était autrement, il faudrait changer les signes dans le second membre de chaque formule correspondante à la couche où le renversement a lieu.

Maintenant, la quantité dont il conviendrait d'allonger ou de raccourcir la longueur de la colonne thermométrique, dépendrait à la fois de toutes ces inégalités de température dont nous venons de donner les expressions, ainsi que des épaisseurs des couches S, A_1, A_2.... A_n.

Digitized by Google

En effet, chacune de ces couches, pour un degré de température, varie de 0,0011 de sa hauteur, d'après la dilatation connue de l'esprit de vin; et, pour x degrés, la variation serait

$$0{,}0011\ x \text{ de sa hauteur.}$$

Ce qui semble le plus simple alors, c'est d'exprimer immédiatement la hauteur d'une couche en degrés de l'échelle du thermomètre pour lequel on fait les réductions [1]; ainsi je suppose que l'épaisseur de la couche soit de 25 centimètres, et que ces 25 centimètres fassent l'équivalent de 6 degrés de l'échelle thermométrique, ou de y degrés en général, la correction en degrés sera de

$$0{,}0011\ x \times y.$$

Pour faciliter les corrections, il suffirait donc de construire une table à double entrée telle que la suivante. Dans la première colonne verticale, on trouve la hauteur y de la couche, ou la longueur de la portion du tube thermométrique exprimée en degrés de l'échelle; et dans la première colonne horizontale se trouvent, pour argumens, les différences x de la température de la boule du thermomètre et de la température moyenne de la couche pour laquelle se fait une réduction, où l'on a

$$x = \frac{a_{m-1} + a_m}{2} - a_n.$$

[1] Voici les données qui ont servi pour la réduction de mes différens thermomètres :

PROFONDEUR où DESCEND LA BOULE DU THERMOMÈTRE.	NOMBRE de millimètres contenus dans un DEGRÉ DE L'ÉCHELLE.	POINT de L'ÉCHELLE A LA SURFACE DU SOL.
m 0,19 ou 0,58 pieds	8,33	— 4,0
0,45 » 1,38 »	6,90	— 1,0
0,75 » 2,31 »	6,15	0,0
1,00 » 3,08 »	15,75	+ 2,0
1,95 » 6,00 »	11,11	— 2,0
3,90 » 12,00 »	16,95	— 1,0
7,80 » 24,00 »	30,30	+ 6,0

Digitized by Google

LONGUEUR de y en degrés DE L'ÉCHELLE.	ALLONGEMENT DE LA COLONNE THERMOMÉTRIQUE POUR UNE TEMPÉRATURE DE									
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
1°	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011
2°	0,002	0,004	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,019	0,022
3°	0,003	0,006	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,033
4°	0,004	0,009	0,013	0,018	0,022	0,026	0,030	0,034	0,038	0,044
5°	0,006	0,011	0,017	0,022	0,027	0,033	0,039	0,045	0,051	0,055
6°	0,007	0,013	0,020	0,027	0,033	0,040	0,047	0,054	0,061	0,066
7°	0,008	0,015	0,023	0,031	0,038	0,046	0,054	0,062	0,070	0,077
8°	0,009	0,018	0,027	0,036	0,044	0,053	0,062	0,071	0,080	0,088
9°	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090	0,099
10°	0,011	0,022	0,033	0,044	0,055	0,066	0,077	0,088	0,099	0,110
11°	0,012	0,024	0,036	0,048	0,061	0,073	0,084	0,096	0,108	0,121
12°	0,013	0,026	0,039	0,052	0,066	0,079	0,092	0,105	0,119	0,132
13°	0,014	0,028	0,042	0,056	0,072	0,086	0,100	0,114	0,128	0,143
14°	0,015	0,030	0,045	0,060	0,077	0,092	0,107	0,122	0,138	0,154
15°	0,017	0,034	0,050	0,066	0,082	0,099	0,116	0,133	0,150	0,165
16°	0,018	0,036	0,054	0,072	0,088	0,106	0,124	0,142	0,160	0,176
17°	0,019	0,038	0,057	0,076	0,094	0,113	0,132	0,151	0,170	0,187
18°	0,020	0,040	0,060	0,080	0,099	0,119	0,139	0,159	0,179	0,198
19°	0,021	0,042	0,063	0,084	0,104	0,125	0,146	0,167	0,188	0,209
20°	0,022	0,044	0,066	0,088	0,110	0,132	0,154	0,176	0,198	0,220
21°	0,023	0,046	0,069	0,092	0,116	0,139	0,161	0,185	0,208	0,231

La formule générale de réduction sera la suivante :

$$\text{Correction totale} = 0{,}0011 \left[y\,(s - a_n) + y_1 \left(\frac{s + a_1}{2} - a_n \right) + \ldots . \right.$$

$$\left. + y_m \left(\frac{a_{m-1} + a_m}{2} - a_n \right) + \ldots + y_n \left(\frac{a_{n-1} + a_n}{2} - a_n \right) \right].$$

Où $y, y_1, y_2 \ldots . y_m, y_n$ expriment les fractions du tube thermométrique comprises dans les couches S, A_1, A_2, ... A_m, A_n.

Digitized by Google

Cette formule peut s'écrire plus simplement, comme il suit :

$$\text{Correction totale} = \frac{0{,}0011}{2}\left[s(2y+y_1)+a_1(y_1+y_2)+a_2(y_2+y_3)+\ldots.\right.$$
$$\left.+a_m(y_m+y_{m+1})\ldots.+a_ny_n-2a_n(y+y_1+y_2\ldots.+y_n)\right].$$

La formule devient plus simple encore quand les boules des thermomètres sont placées à des profondeurs croissant selon une progression arithmétique, c'est-à-dire de manière que l'on ait $y_1 = y_2 = y_3 = y_4 =$ etc; elle devient alors

$$\text{Correction totale} = 0{,}0011\left[y(s-a_n)+y_1\left(\frac{s}{2}+a_1+a_2+\ldots.+a_{n-1}+\frac{a_n}{2}-\frac{a_n}{2}-na_n\right)\right];$$

en posant

$$\Sigma a = a_1 + a_2 + a_3 + \ldots. + a_n,$$

on a

$$\text{Correction totale} = 0{,}0011\left[y(s-a_n)+y_1\left(\frac{s}{2}+\Sigma a-\frac{a_n}{2}-na_n\right)\right];$$

ou bien encore

$$= 0{,}0011\left[(s-a_n)\left(y+\frac{y_1}{2}\right)+y_1(\Sigma a-na_n)\right].$$

Dans le plus grand nombre de cas, on pourrait négliger le dernier terme de cette formule qui sera généralement faible.

C'est en faisant usage de ces formules qu'ont été calculées les réductions des observations de Bruxelles. On trouvera, à la fin de ce mémoire, dans les tableaux n^{os} 1, 2 et 3, les résultats originaux des observations et les résultats réduits pour chaque dixaine de jours pendant les années 1834, 1835 et 1836; les tableaux n^{os} 4 et 5 renferment les résultats mensuels de ces mêmes observations qui seront données, avec tous leurs détails et pour chaque jour, dans les *Annales de l'Observatoire*. Pendant les deux premières années, les thermomètres ont même été observés trois fois par jour, à 9 heures du matin, midi et 4 heures après midi.

La seule inspection de ces tableaux pourra faire juger de quelle

Digitized by Google

importance est la correction pour l'inégalité des températures dans l'étendue des thermomètres. La correction sera en général d'autant plus forte que la boule du thermomètre descend à une profondeur plus grande, et que sa capacité est moindre comparativement à celle du tube. La correction pour le thermomètre dont la boule descend à 12 pieds de profondeur, par exemple, est de plus de huit dixièmes de degré au mois de décembre. Pour faire mieux juger de l'importance de cette correction, et du danger de s'en rapporter à des observations non réduites, je présenterai ici le tableau des corrections qu'il a fallu faire, pour mes différens thermomètres, et pour les résultats de midi, en 1835.

1835.	CORRECTIONS POUR LES THERMOMÈTRES AUX PROFONDEURS DE						
	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80
Janvier . . .	+ 0°,01	+ 0°,05	+ 0°,15	+ 0°,12	+ 0°,51	+ 0°,76	+ 0°,55
Février . . .	0,00	+ 0,01	+ 0,06	+ 0,06	+ 0,33	+ 0,60	+ 0,58
Mars	— 0,02	0,00	+ 0,07	+ 0,06	+ 0,28	+ 0,53	+ 0,59
Avril	— 0,06	— 0,06	— 0,06	0,00	+ 0,08	+ 0,28	+ 0,45
Mai.	— 0,40	— 0,08	— 0,11	— 0,05	— 0,17	— 0,01	+ 0,20
Juin	— 0,10	— 0,13	— 0,16	— 0,12	— 0,48	— 0,46	— 0,23
Juillet. . . .	— 0,10	— 0,17	— 0,22	— 0,13	— 0,38	— 0,53	— 0,46
Août	— 0,10	— 0,08	— 0,09	— 0,06	— 0,27	— 0,50	— 0,62
Septembre . .	— 0,07	— 0,03	+ 0,02	+ 0,01	+ 0,02	— 0,19	— 0,52
Octobre . . .	— 0,32	+ 0,05	+ 0,16	+ 0,15	+ 0,39	+ 0,26	— 0,20
Novembre. . .	— 0,00	+ 0,07	+ 0,21	+ 0,18	+ 0,66	+ 0,76	+ 0,28
Décembre. . .	+ 0,03	+ 0,12	+ 0,26	+ 0,52	+ 0,67	+ 0,83	+ 0,52
Année	— 0,09	— 0,02	+ 0,02	+ 0,06	+ 0,14	+ 0,19	+ 0,09

On voit que les corrections sont positives pendant une partie de l'année, et négatives pendant l'autre. Les corrections sont à peu près nulles après les équinoxes, époques où se présentent les températures

Digitized by Google

moyennes de l'année au-dessus de la surface du sol, et où les indications des thermomètres sont aussi à peu près les mêmes au-dessous de cette surface.

On voit aussi que les corrections pour les résultats généraux des températures de toute l'année sont de signe positif; ce qui provient de ce que, si l'on ne considère que les résultats moyens, la boule est généralement plongée dans une couche d'une température plus élevée que l'extrémité de son tube; et en effet nous avons, d'après le tableau des observations réduites, pour

Température moyenne de l'année, d'après les observations réduites de chaque jour [1].

PROFONDEUR des THERMOMÈTRES.	1834.	1835.	1836.	MOYENNE.
A l'air libre	12°,10	10°,70	10°,30	11°,03
Surface du sol	11,11	9,60	9,00 ?	9,90
A 0m,58 de profondeur . .	10,49	9,60	9,36	9,82
» 1,38 — . .	10,81	10,05	9,66	10,17
» 2,31 — . .	11,19	10,50	9,98	10,56
» 3,08 — . .	11,59	11,02	10,47	11,03
» 6,00 — . .	—	11,63	—	11,63
» 12,00 — . .	—	12,23	11,87	12,05
» 24,00 — . .	—	12,06	12,06	12,06

C'est donc à un demi-pied de profondeur environ que la moyenne des températures a présenté une valeur *minimum* qui a été de 9°,82; puis, la température moyenne de l'année a crû rapidement jusqu'à 12 pieds environ. Les résultats des années qui vont suivre nous ap-

[1] Les résultats des observations sont donnés pour 9 heures du matin, comme représentant mieux les moyennes de l'année, à l'air libre et à la surface du sol; mais ceux concernant les températures de la terre, se rapportent à l'heure de midi.

Digitized by Google

prendront sans doute à quelle cause il faut plus particulièrement rapporter cette grande élévation des thermomètres de 12 et de 24 pieds, qui n'est point en rapport avec l'accroissement des températures au-dessous du sol. Dans les observations d'Édimbourg et de Zurich, on remarque également pour les thermomètres les plus longs, une température moyenne de l'année plus élevée qu'elle ne semblerait devoir l'être en raison des profondeurs où se trouvent les boules des instrumens. Ceci tiendrait-il à un déplacement du zéro de l'échelle? Nous avons aussi remarqué dans ces observations que les températures moyennes de l'année, immédiatement au-dessous de la surface de la terre, présentent une espèce de *minimum*.

Après avoir fait connaître les corrections préalables qu'exigeaient les indications de nos thermomètres, nous allons nous occuper des principaux résultats que l'on peut déduire de nos observations. Nous examinerons successivement ce qui concerne 1° les époques et les grandeurs des *maxima* et *minima* de la température annuelle à différentes profondeurs; 2° la loi de décroissement des variations annuelles de la température au-dessous du sol; 3° la loi des variations que subit la température dans une même couche et pendant le cours d'une année. Enfin nous présenterons quelques recherches sur les variations diurnes de la température de la terre.

3. *Sur les époques et les grandeurs des* maxima *et* minima *de la température annuelle à différentes profondeurs.*

Il est assez difficile de déterminer d'une manière précise, l'instant où un thermomètre, dont la boule descend à plusieurs mètres au-dessous du sol, atteint son point *maximum* ou son point *minimum* : le thermomètre en effet paraît à peu près stationnaire pendant plusieurs jours vers l'une et l'autre de ces deux époques. On peut même dire que la moindre erreur dans les corrections reporte quelquefois un *maximum* à plusieurs jours de distance de sa position véritable. Après avoir examiné cette difficulté avec soin, il m'a paru que la

Digitized by Google

marche la plus sûre était de faire dépendre la détermination du *maximum* ou du *minimum*, ainsi que son époque, d'une série d'observations successives. Je construis à cet effet un arc parabolique qui passe, autant que possible, par une suite de points dont les ordonnées sont les hauteurs thermométriques observées, et dont les abscisses sont les temps correspondans des observations. Lorsqu'un pareil arc a été tracé vers le lieu où se trouve un *maximum* ou un *minimum*, le point que l'on cherche est facile à déterminer, par la condition que la tangente à la courbe, y devient parallèle à l'une des abscisses. On peut aussi employer la marche analytique, qui est plus directe et qui comporte plus d'exactitude. A l'inspection des hauteurs moyennes du thermomètre pour chaque mois, on aperçoit d'abord où se trouve, par exemple, la hauteur *maximum;* puis on prend les hauteurs thermométriques pour les deux mois entre lesquels tombe cette valeur *maximum*. Ces trois nombres figurent trois ordonnées équidistantes, et par leurs extrémités on fait passer un arc de parabole qui ait son grand axe parallèle aux trois ordonnées en question : le sommet de la parabole appartient alors au *maximum* que l'on cherche, et son abscisse indique l'époque de ce *maximum*.

Il ne sera peut-être pas hors de propos d'indiquer par un exemple la marche que nous avons suivie dans nos calculs. Écrivons à cet effet, pour équation de la parabole,

$$(y + \tfrac{1}{2}a)^2 = \mathrm{P}(x + c)$$

dans laquelle $-\frac{1}{2}a$ et $-c$ sont les coordonnées du sommet de la courbe qu'il s'agit de déterminer. On tire de là

$$y^2 + ay = \mathrm{P}x + \mathrm{C};$$

en faisant

$$\mathrm{C} = c\mathrm{P} - \frac{a^2}{4}.$$

y exprime l'époque à laquelle se rapporte la température x observée.

Pour plus de simplicité, si les trois hauteurs thermométriques observées sont x, x' et x'', pour les trois mois consécutifs 0, 1 et 2, en

Digitized by Google

représentant par 1 la durée du mois, et en comptant les temps à partir du premier mois, on aura

$$\begin{aligned} o &= Px + C. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1) \\ 1 + a &= Px' + C \\ 4 + 2a &= Px'' + C \end{aligned}$$

en éliminant C, on a

$$\begin{aligned} 1 + a &= P(x' - x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2) \\ 3 + a &= P(x'' - x') \end{aligned}$$

l'élimination de a donne

$$P = \frac{2}{x - 2x' + x''}.$$

Par suite, les équations (2) et (1) donnent, pour les coordonnées de l'origine de la parabole, en observant que

$$C = cP - \frac{a^2}{4},$$

les valeurs

$$a = P(x' - x) - 1, \text{ et } \frac{a}{2} = \frac{x' - x}{x - 2x' + x''} - \frac{1}{2},$$

$$c = \left(\frac{a}{2}\right)^2 \frac{1}{P} - x.$$

Prenons, pour exemple numérique, le calcul de l'époque et de la grandeur du *maximum* pour le thermomètre de 24 pieds, pendant l'année 1834. Il faudra poser

x	$= 12^{\circ},56$	d'où l'on tire $x + x''$	$= 25^{\circ},07$
x'	$= 12,65$	$2x'$	$= 25,30$
x''	$= 12,51$		
$x' - x$	$= 0,09$	$x - 2x' + x''$	$= -0,23$

ainsi

$$P = -\frac{200}{23}, \text{ et } a = -\frac{200}{23} \times 0,09 - 1;$$

Digitized by Google

l'emploi des logarithmes donne :

Log. 200 . .	2,30103	Log. $\frac{a}{2}$	$\bar{1}$,94988
Log. 0,09 . .	$\bar{2}$,95424	Log. $\left(\frac{a}{2}\right)^2$	$\bar{1}$,89976
Compl. log. 23 . .	8,63827	Log. $\frac{23}{200}$	$\bar{1}$,06070
Log. 0,783 . .	$\bar{1}$,89354	Log. $(c+x)$ . . .	$\bar{2}$,96046
$a = -0{,}783 - 1$		$c + x =$	$-0{,}09$
$\frac{a}{2} = -0{,}891$		$c = -0{,}09 - 12{,}56 = -12{,}65$;	

ainsi le thermomètre, à 24 pieds de profondeur, s'est élevé dans sa valeur *maximum* à 12°,65 ; ce qui est arrivé à 0,891 de mois, à partir du 15 novembre, ou bien à 26,73 jours du 15 novembre, c'est-à-dire le 11,73 décembre.

Le calcul des *minima* se fait exactement de la même manière, seulement il faut avoir égard aux changemens de quelques signes.

Cela posé, le calcul nous a donné, pour les époques auxquelles nos différens thermomètres ont atteint leur hauteur *maximum*, les résultats qui suivent :

PROFONDEUR.	ÉPOQUE DU MAXIMUM DE TEMPÉRATURE.			
	1834.	1835.	1836.	ÉPOQUE MOYENNE.
Surface. . . .	19,5 juillet .	24,2 juillet .	15,0 juillet .	19,6 juillet.
0,58	26,1 » . .	2,0 août. .	16,8 » . .	25,3 »
1,38	4,3 août. .	10,2 » . .	21,6 » . .	1,7 août.
2,31	10,2 » . .	15,2 » . .	25,6 » . .	6,7 »
3,08	13,9 » . .	18,3 » . .	28,5 » . .	9,9 »
6,00	4,3 septemb.	7,9 septemb.	? . . .	6,1 septemb.
12,00	8,1 octobre .	7,8 octobre .	10,2 octobre .	8,7 octobre.
24,00	11,7 décemb .	3,0 décemb .	19,8 décemb .	11,5 décemb.

Digitized by Google

PROFONDEUR.	ÉPOQUE DU MINIMUM DE TEMPÉRATURE.		
	1835.	1836.	ÉPOQUE MOYENNE.
Surface	9,0 janvier . .	27,3 décembre. .	2,7 janvier.
0,58	17,0 » . . .	21,4 janvier. . .	19,2 »
1,38	23,6 » . . .	22,6 » . . .	23,1 »
2,31	10,0 février. . .	24,2 » . . .	1,6 février.
3,08	18,6 » . . .	28,8 » . . .	9,2 »
6,00	19,2 mars . . .	?	19,2 mars.
12,00	20,1 avril . . .	4,0 avril . . .	12,0 avril.
24,00	15,9 juin . . .	11,7 juin . . .	13,8 juin.

D'après ce tableau, le *maximum* de température se serait manifesté à la surface de la terre, le 20 juillet; et, à la profondeur de 24 pieds, le 12 décembre suivant. Le temps employé par le *maximum* à se transmettre ainsi, aurait donc été de 145 jours.

La température des hivers précédens a été très-irrégulière, et la courbe qui la représente, a éprouvé des inflexions si nombreuses qu'il devient presqu'impossible de déterminer son *minimum* absolu, celui du moins qui a dû amener le *minimum* de température des couches inférieures de la terre. Les thermomètres placés au-dessous de la surface du sol et à de faibles profondeurs, ont été à peu près stationnaires pendant tout l'hiver de 1835. Pour déterminer le *minimum* de température de cet hiver, nous avons employé, pour les quatre thermomètres les plus courts et pour le thermomètre placé à la surface du sol, les résultats observés pour décembre et avril en même temps que la moyenne de janvier, février et mars, mois pendant lesquels ces thermomètres n'ont presque pas varié: le calcul a donné, pour époque du *minimum* de température du thermomètre le plus long, le 14 juin; et il donne, pour le thermomètre placé à la surface de la terre, le 3 janvier. Nous croyons néanmoins devoir déplacer ce *minimum* et le rapporter au 15 janvier, époque qui s'accorde beaucoup mieux avec

Digitized by Google

la marche des thermomètres placés en terre, près de la surface, et qui n'ont pas autant que le précédent, subi des changemens brusques de température. La distance du 15 janvier au 14 juin serait ainsi de 151 jours.

En déterminant les époques auxquelles les thermomètres atteignaient leurs hauteurs moyennes, nous sommes parvenu aux résultats suivans :

THERMOMÈTRE.	ÉPOQUE DE LA TEMP. MOYENNE A LA SUITE DU MINIMUM.			
	1834.	1835.	1836.	MOYENNE.
A la surface . .	29 avril . .	23 avril . .	8 mai. . .	30 avril.
» 0,58 pieds . .	3 mai. . .	7 mai. . .	15 mai. . .	8 mai.
» 1,38 » . .	7 » . . .	11 » . . .	18 » . . .	12 »
» 2,31 » . .	9 » . . .	17 » . . .	21 » . . .	16 »
» 3,08 » . .	23 » . . .	22 » . . .	23 » . . .	23 »
» 6,00 » . .	. . . . .	14 juin. . .	. . . . .	. . . . .
» 12,00 » . .	. . . . .	14 juillet . .	12 juillet . .	13 juillet.
» 24,00 » . .	. . . . .	10 septembre.	10 septembre.	10 septembre.

THERMOMÈTRE.	ÉPOQUE DE LA TEMP. MOYENNE A LA SUITE DU MAXIMUM.			
	1834.	1835.	1836.	MOYENNE.
A la surface. . .	11 octobre .	12 octobre .	23 octobre .	15 octobre.
» 0,58 pieds . .	18 » . .	17 » . .	28 » . .	20 »
» 1,38 » . .	28 » . .	21 » . .	13 novembre.	31 »
» 2,31 » . .	1 novembre.	30 » . .	10 » . .	3 novembre.
» 3,08 » . .	8 » . .	2 novembre.	10 » . .	7 »
» 6,00 » . .	. . . . .	8 décembre .	1 décembre .	5 décembre.
» 12,00 » . .	11 janvier. .	2 janvier. .	18 janvier. .	10 janvier.
» 24,00 » . .	. . . . .	6 mars . .	15 mars . .	11 mars.

Pour se transmettre de la surface du sol à la profondeur de 24 pieds,

Digitized by Google

la température moyenne a employé 133 jours, du 30 avril au 10 septembre; et 146, du 15 octobre au 11 mars. En conséquence on a compté

145 jours pour le *maximum*.
151 » pour le *minimum*.
133 » pour la *moyenne* après l'hiver.
146 » pour la *moyenne* après l'été.

MOYENNE . . 144 jours environ.

Ainsi, terme moyen, *la vitesse pour la transmission de la chaleur, à partir de la surface du sol, a été de 144 jours pour 24 pieds, ce qui donne 1 pied parcouru par six jours.* En employant le thermomètre de 12 pieds pour un semblable calcul, on trouve une vitesse de transmission un peu moindre et la température ne parcourrait que 1 pied environ en sept jours; ce qui s'accorderait aussi mieux avec la marche des autres thermomètres, comme on peut le voir par le tableau qui suit, dans lequel nous avons inscrit les temps écoulés depuis les instans critiques observés à la surface du sol, en prenant pour points de départ le 20 juillet et le 15 janvier pour les températures *maxima* et *minima*, et le 30 avril et le 15 octobre pour les températures moyennes.

PROFONDEUR	VITESSE OBSERVÉE DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR				VITESSE MOYENNE observée.	VITESSE calculée en suppost LA TRANSMISS.	
	Après LE MAXIMUM.	Après LE MINIMUM.	APRÈS LA TEMP. MOYEN. D'AVRIL.	APRÈS LA TEMP. MOYEN. D'OCTOBRE.		DE 6 J.	DE 7 J.
0,58	5 jours.	4 jours.	8 jours.	5 jours.	5 jours.	4 j.	4 j.
1,38	13 »	8 »	12 »	16 »	12 »	8 »	9 »
2,31	18 »	17 »	16 »	19 »	17 »	14 »	16 »
3,08	21 »	24 »	23 »	23 »	23 »	19 »	22 »
6,00	48 »	63 »	45 »	51 »	52 »	36 »	42 »
12,00	80 »	87 »	74 »	87 »	82 »	72 »	84 »
24,00	145 »	151 »	133 »	146 »	144 »	144 »	168 »

Digitized by Google

Ce qui précède montre 1° que l'on peut considérer la vitesse de transmission de la chaleur comme sensiblement uniforme; 2° que cette vitesse est de 1 pied par 6 à 7 jours environ.

Le thermomètre qui s'écarte le plus des résultats calculés est celui de 6 pieds qui, ayant d'ailleurs été cassé, n'a pu donner pour termes de comparaison que les résultats d'une seule année.

Nous allons présenter maintenant les *maxima* et *minima* absolus des thermomètres tels qu'ils ont été obtenus par le calcul.

PROFONDEUR.	MAXIMA.				MINIMA.		
	1834.	1835.	1836.	MOYENNE.	1835. [1]	1836.	MOYENNE.
A 0,58 pieds.	18°17	16°92	16°10	17°06	4°54	3°03	3°78
» 1,38 »	18,05	16,89	15,80	16,91	5,31	3,62	4,47
» 2,31 »	17,89	16,74	15,67	16,77	6,34	4,48	5,41
» 3,08 »	17,93	16,75	15,55	16,74	7,10	5,23	6,16
» 6,00 »	16,15	15,59	?	15,87	8,56	7,99	8,28
» 12,00 »	14,93	14,60	13,99	14,51	10,20	9,85	10,02
» 24,00 »	12,65	12,89	12,76	12,77	11,34	11,35	11,34

En estimant la température moyenne de l'année d'après la moyenne des températures *maximum* et *minimum*, on trouve encore ici que sa valeur augmente graduellement à mesure que l'on pénètre plus avant au-dessous de la surface du sol; et, ici encore, la température moyenne donnée par le premier thermomètre, à 0ᵖ,58 de profondeur, est une quantité moindre que la température de l'air pendant les trois dernières années.

Il paraîtrait donc très-probable, d'après la généralité des résultats obtenus précédemment, 1° qu'abstraction faite des effets des varia-

[1] La marche irrégulière des thermomètres placés dans le voisinage du sol, a fait qu'on s'est borné, pour l'hiver de 1835, à prendre les températures des mois les plus froids pour valeurs des *minima*.

Digitized by Google

tions annuelle et diurne de la température, la chaleur terrestre est un peu moindre au-dessous de la surface du sol qu'au-dessus; 2° que le *minimum* se trouverait dans la couche comprise entre la surface du sol et un pied de profondeur environ; 3° qu'à partir de ce *minimum*, la température annuelle va croissant et selon une progression qui semblerait même plus rapide que celle qu'on observe à des profondeurs plus grandes.

En résumant également les recherches exposées précédemment, sous le rapport de la vitesse de transmission de la température d'une couche à l'autre de la terre, on trouve que

UNE COUCHE DE TERRE D'UN PIED D'ÉPAISSEUR A ÉTÉ TRAVERSÉE PAR LA CHALEUR

A Zurich,	dans l'espace de	. . . .	5 à 7 jours ?
A Heidelberg,	—	. . . .	8 » ?
A Édimbourg,	—	. . . .	7 »
A Paris,	—	. . . .	6 »
A Bruxelles,	—	. . . .	6 à 7 »

Ainsi, *la vitesse de transmission de la température peut être considérée, dans sa valeur moyenne, comme étant de* 6 *à* 7 *jours, pour une couche de terre de* 1 *pied d'épaisseur.* Il résulte encore de là qu'il faut une année environ pour que les chaleurs de l'été, ou les froids de l'hiver, se transmettent à la profondeur de 60 pieds. Or, nous verrons bientôt que c'est vers cette profondeur aussi que doit se trouver la couche des températures invariables, celle du moins où la plus grande variation de température annuelle n'est plus que de 4 à 5 centièmes de degré du thermomètre centigrade.

4. *De la loi de décroissement des variations annuelles de la température au-dessous de la surface de la terre.*

La théorie nous apprend que, lorsque l'on descend au-dessous de la surface de la terre selon une progression arithmétique, les amplitudes des variations du thermomètre, pendant le cours d'une année, doivent décroître selon une progression géométrique : la courbe qui a pour abscisses les profondeurs, et pour ordonnées les grandeurs de ces amplitudes, est donc une logarithmique.

Digitized by Google

Nous allons chercher à reconnaître si l'expérience est ici d'accord avec la théorie. Nous prendrons d'abord les élévations *maxima* et *minima* de nos différens thermomètres, telles que nous les avons déduites, par le calcul, des moyennes mensuelles des températures. Les *maxima* et *minima* obtenus de cette manière sont moins prononcés il est vrai, que ceux que l'on aurait effectivement, en tenant compte des observations individuelles de chaque jour; mais la marche irrégulière du thermomètre, surtout dans le voisinage de la surface du sol, semble devoir les faire préférer. Ce qu'il importe de considérer en effet, ce n'est pas que le thermomètre s'est accidentellement élevé, pendant quelques instans, à une hauteur très-grande, mais qu'il se soit soutenu à cette hauteur pendant un temps assez notable pour déterminer la température *maximum* qui doit aller déterminer les *maxima* successifs de l'année aux différentes profondeurs. Dans ces sortes d'observations, c'est à la fois à la hauteur du thermomètre et à la durée des chaleurs ou des froids qu'il faut avoir égard. Ce sont ces motifs qui nous ont fait préférer les *maxima* et *minima* déduits, par le calcul, des moyennes mensuelles, pour pouvoir étudier leur marche à l'intérieur de la terre. Cela posé, nous allons faire connaître quelles ont été les plus grandes variations annuelles de nos différens thermomètres, d'après trois années d'observations, et nous donnerons en regard les valeurs calculées.

PROFONDEUR.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.		VARIATIONS ANNUELLES.		DIFFÉRENCE.
	MAXIMA.	MINIMA.	OBSERVÉES.	CALCULÉES.	
0,58 pieds.	17°,06	3,78	13°,28	13°,40	— 0°,12
1,38 »	16,91	4,47	12,44	12,41	+ 0,03
2,31 »	16,76	5,41	11,35	11,36	— 0,01
3,08 »	16,74	6,16	10,58	10,55	+ 0,03
6,00 »	15,87	8,28	7,59	7,98	— 0,39
12,00 »	14,51	10,02	4,49	4,50	— 0,01
24,00 »	12,77	11,34	1,43	1,43	0,00

Digitized by Google

La formule par laquelle ont été obtenues les valeurs calculées, est la suivante :

$$\text{Log. } \triangle_p = 1{,}15108 - 0{,}04149\ p.$$

Elle a été déduite immédiatement du résultat des observations des deux thermomètres les plus grands. L'on peut voir, par la *fig.* III, que l'accord entre les résultats observés et calculés est aussi grand qu'on peut le désirer, excepté peut-être pour le thermomètre de 6 pieds, qui du reste a été observé pendant un temps moins long que les autres thermomètres[1].

Si, dans la formule qui précède, nous faisons $p=o$, nous trouverons pour la variation annuelle de la température à la surface de la terre 14°,16, valeur qui est inférieure de beaucoup à celle qui a été donnée effectivement par le thermomètre placé à la surface de la terre. Mais nous avons déjà eu occasion de voir combien les indications des thermomètres sont différentes, selon que leurs boules sont plus ou moins couvertes de terre. D'ailleurs, cette espèce de solution de continuité peut tenir encore à l'exposition des instrumens et aux heures des observations qui compliquent, dans le voisinage du sol, les variations annuelles de l'effet des variations diurnes. La variation annuelle qui résulte du calcul, est aussi moindre que celle qu'à donnée l'observation pour Zurich; et le contraire a eu lieu pour Paris.

On a pu voir que les limites dans lesquelles varie la température annuelle, se resserrent très-rapidement quand les profondeurs augmentent : à 24 pieds au-dessous du sol, par exemple, la variation annuelle n'a plus été que 1°,43. La formule donnée plus haut montre que l'excès du *maximum* sur le *minimum* de température

N'EST PLUS QUE DE :	A LA PROFONDEUR DE :
1°00 centig.	27,7 pieds.
0,10 »	51,8 »
0,01 »	75,9 »

[1] En employant la méthode des moindres carrés, l'équation devient log. $\triangle_p = 1.14883 - 0.04140p$. Mais les résultats calculés s'écartant peu de ceux obtenus par la formule précédente, nous avons préféré laisser subsister celle-ci, à laquelle on a l'avantage de parvenir immédiatement.

Digitized by Google

Ainsi, les oscillations des températures pendant le cours de l'année ne tombent que dans les centièmes de degré à la profondeur de 60 pieds; ce résultat s'accorde fort bien avec celui qu'ont présenté les eaux d'un puits de l'observatoire, qui descend à plus de 60 pieds au-dessous du sol. Les observations faites aux différentes époques de l'année n'ont pas en effet donné une différence de température appréciable, pendant tout le cours de 1834 et de 1835.

Si nous rapprochons les résultats qui précèdent de ceux que donnent les observations que nous avons discutées précédemment, nous trouverons les résultats suivans :

LIEUX.	PROFONDEUR A LAQUELLE LES PLUS GRANDES OSCILLATIONS DES TEMPÉRATURES ANNUELLES NE SONT PLUS QUE DE		
	1°,00.	0°,10.	0°,01.
Édimbourg	20,3 pieds.	39,3 pieds.	58,3 pieds.
Upsal.	24,6 »	43,5 »	62,5 »
Zurich	27,3 »	49,5 »	71,4 »
Strasbourg	31,0 »	56,0 »	81,0 »
Paris	28,0 »	48,5 »	68,9 »
Bruxelles.	27,7 »	51,8 »	75,9 »

Il semblerait d'après ces nombres que, pour des latitudes élevées, les variations annuelles des températures pénètrent moins profondément en terre, du moins les nombres d'Édimbourg et d'Upsal tendraient à le faire croire. Dans nos climats, on peut estimer, d'après les observations de Paris, de Strasbourg, de Zurich et de Bruxelles, que les variations sont à peu près éteintes à 74 pieds de profondeur, puisqu'elles n'y sont plus que d'un centième de degré; même, à 50 pieds, elles ne sont plus guère sensibles, puisqu'elles ne s'élèvent qu'à un dixième de degré.

Digitized by Google

En rapprochant les formules qui ont servi aux calculs des observations, on trouve

Pour Upsal	log. $\triangle_p$	= 1,29245	—	0,05265	p
» Édimbourg . . .		= 1,06819	—	0,05260	p
» Paris.		= 1,37633	—	0,04856	p
» Bruxelles . . .		= 1,15108	—	0,04149	p
» Strasbourg . . .		= 1,27875	—	0,04020	p
» Zurich		= 1,21741	—	0,03844	p.

Il est très-remarquable que le coefficient, qui dépend de la chaleur spécifique et de la conductibilité de la terre pour la chaleur, semble croître avec la hauteur des latitudes. On doit regretter que les observations qui servent à le déterminer soient encore si peu nombreuses, car cet élément est appelé à jouer un grand rôle dans la physique du globe. D'après la théorie de la chaleur, la valeur de b, comme il a été dit plus haut, est la suivante

$$b = \sqrt{\frac{\pi . c}{k}} \log. e :$$

π est le rapport de la circonférence au diamètre, c est la chaleur spécifique de la terre, k sa conductibilité, et log. e = 0,43429 [1].

[1] Depuis que ce qui précède est écrit, nous avons reçu une lettre de M. Kupffer, qui se propose de faire également en Russie des observations sur les variations annuelles de la température de la terre. Ce savant s'est occupé de calculer les observations de Strasbourg, de Zurich et d'Édimbourg. « La valeur de α, écrit-il (c'est le coefficient de votre p, divisé par log. e ou par 0,43429), est à Bruxelles, selon vous, égal à 0,09373 et 0,0887; il est, d'après mes calculs, de

0,1554 }	pour	Édimbourg
0,1332 }		
0,0904	»	Strasbourg
0,1102	»	Zurich.

« Cette valeur serait-elle plus grande pour les hautes latitudes que pour les basses? Les observations de Zurich ne sont cependant pas favorables à cette supposition. » En multipliant les coefficiens de M. Kupffer par 0,43429, on trouve les valeurs suivantes, un peu différentes des nôtres :

Pour	Édimbourg	0,06747
		0,05784
»	Strasbourg	0,03935
»	Zurich. .	0,04786.

Digitized by Google

5. *Sur la loi des variations de température que subit une même couche de terre pendant la durée d'une année.* Voyez fig. 4.

D'après la théorie, quand on prend les temps pour abscisses, et les hauteurs thermométriques pour les ordonnées d'une courbe, cette ligne doit être une logarithmique. Nous allons chercher si ce résultat du calcul est conforme à ce que nous apprend l'expérience. En nommant y les hauteurs thermométriques aux époques désignées par x, on aurait

$$y = A + B \sin. (x + C);$$

x sera exprimé en degrés et compté à partir du premier jour de l'an, de telle manière qu'après une année révolue, sa valeur sera de 360°; on pourra donc considérer la distance d'un mois à l'autre comme étant de 30°. C, A et B sont des constantes que l'expérience fait connaître; du reste A indique la température moyenne de l'année pour la couche dont il s'agit, B est la demi-différence du *maximum* au *minimum* de température annuelle pour la même couche, et C est compté de l'époque où l'on avait la température moyenne de l'année.

Les conséquences nécessaires de cette formule seraient que deux époques de l'année, également distantes du point *maximum* ou du point *minimum*, doivent toujours présenter des températures égales, et que ces derniers points sont à six mois de distance l'un de l'autre. En effet, si x' donne le *maximum* (ce qui suppose $x' + C = 90$); $180 + x'$ donnera nécessairement le *minimum*, car nous aurons

$$\begin{array}{lll} \text{Pour le } \textit{maximum} & y = A + B \sin. (x' + C) & = A + B \\ \text{» } \textit{minimum} & y = A + B \sin. (180 + x' + C) & = A - B. \end{array}$$

Pour deux instans également éloignés du *maximum*, de z degrés, par exemple, on aurait

$$\begin{array}{lll} \text{Avant le } \textit{maximum} & y = A + B \sin. (90 - z) \\ \text{Après » } & y = A + B \sin. (90 + z) \end{array}$$

Quel que soit z, il est évident que ces deux expressions sont égales.

Ce qui précède étant admis, nous allons passer à l'examen de ce qui se passe dans la couche placée à 24 pieds de profondeur. En prenant la moyenne des températures pour 1835 et 1836, on remar-

Digitized by Google

quera d'abord que la moyenne température de l'année équivaut à 12°,06, ce qui sera la valeur de A dans la formule. D'une autre part, l'excès du *maximum* sur le *minimum* de température de l'année est 12°,80—11°,34=1°,46; la moitié de cette valeur ou 0°,73 formera la constante B. La troisième constante C pourra se déterminer par les époques auxquelles sont arrivées les températures moyennes et les températures extrêmes; or, on a eu à 24 pieds de profondeur:

La température moyenne le 11 mars.
— — le 10 septembre.
— *maximum* le 11,5 décembre.
— *minimum* le 13,8 juin.

Supposons qu'on prenne effectivement le 10 septembre pour époque de la température moyenne, ce qui nous ferait compter vingt jours plus trois mois, ou 110 degrés jusqu'à la fin de l'année. Ce nombre sera notre troisième constante C; la formule est donc déterminée, et devient

$$y = 12°,06 + 0°,73 \text{ sin. } (110° + x).$$

Nous allons mettre en présence les nombres calculés et ceux qui ont été donnés par l'observation.

Variations annuelles de la température à 24 pieds de profondeur.

MOIS.	VALEUR OBSERVÉE.	VALEUR CALCULÉE.	DIFFÉRENCE.
Janvier.	12°,60	12°,66	— 0°,06
Février.	12,32	12,37	— 0,05
Mars	12,01	12,00	+ 0,01
Avril	11,70	11,64	+ 0,06
Mai.	11,48	11,40	+ 0,08
Juin.	11,34	11,33	+ 0,01
Juillet	11,45	11,46	— 0,01
Août	11,74	11,75	— 0,01
Septembre	12,14	12,12	+ 0,02
Octobre	12,48	12,48	0,00
Novembre.	12,78	12,72	+ 0,06
Décembre.	12,80	12,81	— 0,01
MOYENNE.	12,07	12,06	+ 0,01

Digitized by Google

Les différences qui existent entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience sont si faibles, qu'on peut les attribuer aux erreurs des observations, ou plutôt aux petites erreurs inévitables dans le calcul des corrections.

Le tableau qui suit présente, à côté des résultats obtenus par l'observation, ceux qui ont été déduits par le calcul pour les thermomètres dont les boules descendaient à 12 et à 6 pieds de profondeur. Les formules qui ont servi aux calculs, sont, pour le thermomètre de 12 pieds :

$$y = 12°,05 + 2°,12 \text{ sin. } (170° + x);$$

pour le thermomètre de 6 pieds :

$$y = 11°,63 + 3°,51 \text{ sin. } (22° + x).$$

MOIS.	THERMOM. DE 12 PIEDS, 1835 ET 1836.			THERMOMÈTRE DE 6 PIEDS, 1835.		
	VALEUR OBS.	VALEUR CAL.	DIFFÉRENCE.	VALEUR OBS.	VALEUR CAL.	DIFFÉRENCE.
Janvier . .	11°,80	11°,87	— 0°,07	9°,72	9°,52	+ 0°,20
Février . .	10,74	10,83	— 0,09	8,87	8,40	+ 0,47
Mars . . .	10,20	10,13	+ 0,07	8,57	8,14	+ 0,43
Avril . . .	10,04	9,94	+ 0,10	8,74	8,83	— 0,09
Mai. . . .	10,28	10,31	— 0,03	9,65	10,26	— 0,61
Juin . . .	10,90	11,15	— 0,25	11,71	12,04	— 0,33
Juillet. . .	12,14	12,23	— 0,09	13,59	13,74	— 0,15
Août . . .	13,32	13,27	+ 0,05	15,22	14,84	+ 0,38
Septembre .	14,11	13,97	+ 0,14	15,55	15,12	+ 0,43
Octobre . .	14,28	14,16	+ 0,12	14,64	14,43	+ 0,21
Novembre. .	13,87	13,79	+ 0,08	12,45	13,00	— 0,55
Décembre. .	12,88	12,95	— 0,07	10,82	11,20	— 0,38

La loi des sinus s'observe encore assez bien pour le thermomètre dont la boule descend à 12 pieds de profondeur, puisque le plus grand écart entre l'observation et le calcul ne s'élève qu'à un quart de degré,

Digitized by Google

et qu'il ne s'élève généralement pas au delà d'un dixième de degré. Mais il n'en est plus de même pour le thermomètre de six pieds de longueur, que nous n'avons pu, à la vérité, observer que pendant une année; d'ailleurs nous avons déjà eu occasion de soupçonner qu'un déplacement avait eu lieu dans le zéro de l'échelle, avant que cet instrument ne fût cassé. Pour juger si la loi des sinus était encore applicable en se rapprochant de la surface de la terre, j'ai soumis au calcul les nombres relatifs au thermomètre de 3,08 pieds de longueur, pour lequel j'avais d'ailleurs 3 années d'observations. Voici quels ont été les résultats, en calculant d'après deux formules, dont la première obtenue directement était

$$y = 11°,03 + 5°,0 \sin. (225° + x)$$

et dont la seconde, déduite par la méthode des moindres carrés [1], était

$$y = 11°,00 + 4°,95 \sin. (224°,99 + x).$$

MOIS.	THERMOM. A 1m, OU 3p,08 DE PROFONDEUR, 1834, 35 ET 36.				
	VALEUR OBS.	VALEUR CALCULÉE.		DIFFÉRENCE.	
		1re FORMULE.	2me FORMULE.	1re FORMULE.	2me FORMULE.
Janvier. . .	7°,11	6°,70	6°,71	+ 0°,41	+ 0°,40
Février. . .	6,65	6,03	6,05	+ 0,62	+ 0,60
Mars. . . .	7,22	6,70	6,71	+ 0,52	+ 0,51
Avril . . .	7,87	8,53	8,53	— 0,66	— 0,66
Mai. . . .	10,13	11,03	11,00	— 0,90	— 0,87
Juin. . . .	13,56	13,53	13,47	+ 0,03	+ 0,09
Juillet . . .	15,68	15,36	15,29	+ 0,32	+ 0,39
Août. . . .	16,61	16,03	15,95	+ 0,58	+ 0,66
Septembre. .	15,34	15,36	15,29	— 0,02	+ 0,05
Octobre. . .	13,46	13,53	13,47	— 0,07	— 0,01
Novembre. .	10,10	11,03	11,00	— 0,93	— 0,90
Décembre . .	8,63	8,53	8,53	+ 0,10	+ 0,10

[1] Les calculs ont été faits par M. Mailly, mon aide pour cette partie.

Digitized by Google

Il est évident que les écarts entre les nombres calculés et les nombres observés, deviennent ici trop grands pour que l'on puisse continuer à regarder les hauteurs thermométriques comme les ordonnées d'une sinusoïde dont les abscisses exprimeraient les époques des observations. Il est possible que nos recherches ne s'étendent pas encore sur une période de temps assez longue, pour que toutes les variations accidentelles se trouvent éliminées de nos résultats. Il est à remarquer, du reste, que les discordances que nous trouvons, sont moins apparentes quand nous représentons les valeurs numériques par des courbes tracées. On voit alors, en effet, que les plus grands écarts proviennent de ce que les températures moyennes observées ne tombent pas exactement à six mois de distance, mais se trouvent plus rapprochées en allant du printemps à l'automne. Or, comme c'est vers les points des températures moyennes, que les ordonnées subissent les variations les plus rapides, c'est aussi là que nous trouvons les plus forts écarts dans les nombres calculés.

6. *Sur les variations diurnes de la température de la terre.*

Pour étudier les effets des variations diurnes de la température de la terre, je me suis servi de huit thermomètres qui avaient été construits à Paris, par les soins de M. Saigey. Ces thermomètres ont été placés vers le commencement de 1836 : trois avaient leur boule vers la surface du sol; on a déjà pu voir, plus haut, les résultats qu'ils ont présentés; les cinq autres avaient respectivement leur boule à 2, 4, 6, 8 et 10 décimètres de profondeur. Leur exposition était au midi et accessible aux rayons solaires pendant les différentes saisons de l'année. Je ne pus commencer des observations d'une manière un peu suivie, que vers le mois de mars; et n'ayant point d'aide pour les observations de la nuit, je dus les suspendre encore jusque vers le mois de juin. A cette époque, je m'aperçus que le thermomètre dont la boule était à 4 décimètres de profondeur, avait une fissure vers le haut du tube, qui donnait passage à la vapeur de l'esprit de vin; à peu de temps de là, le thermomètre de deux décimètres fut brisé par un accident, de sorte que je me trouvai à peu près dans l'impossibilité

Digitized by Google

de continuer mes recherches avec quelque fruit. Je m'aperçus aussi, avec regret, que l'exposition avait été mal choisie; les oscillations du liquide dans les thermomètres placés à la surface du sol, étaient quelquefois si rapides et la température était si élevée, que les corrections pour les autres thermomètres devenaient trop considérables pour qu'il ne se présentât pas des erreurs graves dans des mesures aussi délicates; et en effet, les corrections pour les thermomètres de 10, de 8 et même de 6 décimètres dépassaient quelquefois de beaucoup l'effet de la variation diurne. Les résultats que j'ai déduits de ce genre d'observations, sont donc peu sûrs, et si j'en parle ici avec quelque détail, c'est plutôt pour prévenir les physiciens sur les difficultés qu'ils peuvent rencontrer dans ce genre de recherches. Je pense aussi que les observations pour être concluantes, devraient être faites, autant que possible, par des temps entièrement sereins ou entièrement couverts, pour éviter, dans les courbes des températures, toutes les inflexions accidentelles qu'y doivent nécessairement produire les oscillations de la température, à moins qu'on n'élimine ces effets accidentels, en opérant sur des périodes de temps un peu longues. Enfin, au milieu des précautions sans nombre qu'il convient de prendre, il faut aussi avoir soin de corriger les effets des variations diurnes des effets de l'accroissement graduel, ou de la diminution de la température d'un jour à l'autre.

Parmi les résultats que j'ai obtenus, celui qui me semble mériter le plus de confiance, se rapporte aux temps qu'exige la température pour se transmettre à différentes profondeurs. D'après la moyenne des époques des *maxima* de température, calculées d'après les formules indiquées précédemment, et pour chacun des jours du mois de mars, où les observations ont pu être faites, j'ai trouvé :

THERMOMÈTRES.			HEURE DU MAXIMUM.	
			h	
A,	dont la boule	est à la surface du sol	0,74	soir.
B,	—	est à moitié enterrée.	0,92	»
C,	—	est au-dessous de la surface du sol.	0,97	»
Therm.	—	est à 0^m,2 de profondeur . . .	6,1	»
—	—	est à 0^m,4 — . . .	1,2	matin.
—	—	est à 0^m,6 — . . .	5,8	»

Digitized by Google

Le *maximum* de température s'est donc présenté, vers la surface du sol, à $0^h,9$; à deux décimètres de profondeur, il y a eu retard de $5^h,2$; à quatre décimètres de profondeur, le retard a été de $12^h,3$; et à six décimètres, de $16^h,9$. On peut évaluer que la température, en lui supposant une vitesse uniforme, a parcouru un décimètre

Dans l'espace de	. .	h 2,6	d'après le thermomètre de		. . .	m 0,2
—	. .	3,1	—	—	. . .	0,4
—	. .	2,8	—	—	. . .	0,6

Ce qui donne, terme moyen, $2^h,8$ pour la durée de la transmission du *maximum* de température, à travers une couche de 1 décimètre d'épaisseur; et la couche où les *maxima* et *minima* de température arriveraient aux mêmes instans qu'à la surface du sol, se trouverait à la profondeur de 8 décimètres et demi.

L'époque du *minimum* de température a été plus difficile à observer parce que, pour les thermomètres de 4 et de 6 décimètres, il arrivait vers les époques où les corrections sont les plus fortes et doivent inspirer le moins de confiance dans les résultats. En n'employant que les indications du thermomètre de $0^m,2$ de longueur, le *minimum* s'est présenté, terme moyen, à $10^h,7$ du matin, et en reportant le *minimum* de température, à la surface du sol, à $5^h,5$ du matin, on trouve encore $5^h,2$ pour différence des temps entre ces deux époques.

Au mois de juin, le thermomètre de $0^m,4$ était hors d'usage, comme il a été dit; et les thermomètres supérieurs ont donné les valeurs qui suivent :

THERMOMÈTRES.			HEURE DU MAXIMUM.	
			h	
A,	dont la boule est à la surface du sol	. . . .	1,34	soir.
B,	— est à moitié enterrée.	. . . .	1,41	»
C,	— est au-dessous de la surface du sol		1,45	»
Therm.	— est à $0^m,2$ de profondeur	. . .	6,90	»

En prenant $1^h,40$ et $6^h,90$ pour époques du *maximum* de température à la surface de la terre et à deux décimètres de profondeur,

Digitized by Google

on trouve que cette dernière épaisseur a été traversée par la température dans l'espace de 5 heures et demie, ce qui fait $2^h,75$ pour un décimètre, résultat qui confirme de nouveau celui obtenu précédemment.

L'époque du *minimum* de température, au mois de juin, s'est présentée pour le thermomètre de $0^m,2$, à $9^h,6$ du matin; si l'on reporte le *minimum* de température à la surface à $3^h,3$, on aura pour différence des temps $6^h,3$ qui est une valeur un peu plus grande que les précédentes.

Quant à l'excès de la température *maximum* sur la température *minimum*, d'après les indications de chacun de nos thermomètres, voici les résultats donnés pour les mois de mars et de juin :

THERMOMÈTRES.	DIFFÉRENCE DES TEMPÉR. EXTRÊMES. MARS.	JUIN.
	—	—
A, dont la boule est à la surface du sol. . . .	14°,90	20°,13
B, — est à moitié enterrée	12,42	18,81
C, — est au-dessous de la surface . .	12,04	17,30
Therm. — est à $0^m,2$ de profondeur. . .	2,19	3,92

Nous nous bornons à présenter ici les observations obtenues par les quatre premiers thermomètres, à cause des incertitudes que les corrections doivent nécessairement introduire dans les indications des thermomètres inférieurs, surtout après que celui placé à 4 décimètres de profondeur eut été cassé; et nous prendrons pour température de la terre, à sa surface, la moyenne des indications des trois thermomètres A, B et C; nous aurons ainsi 13°,12 pour le mois de mars, et 18°,75 pour le mois de juin. Ces valeurs combinées respectivement avec celles de 2°,19 et 3°,92, obtenues par le thermomètre de $0^m,2$, donnent lieu aux équations suivantes, qui exprimeraient la marche des variations diurnes aux deux époques indiquées :

$$\text{Pour le mois de mars, } \log. \triangle_p = 1{,}11793 - 0{,}38874\ p;$$

$$\text{— de juin, } \log. \triangle_p = 1{,}27300 - 0{,}33985\ p.$$

Digitized by Google

p exprime, en décimètres, la profondeur de la couche de terre pour laquelle $\triangle_p$ est la variation de température la plus grande en 24 heures.

D'après ces deux formules, on calcule que $\triangle$ a les valeurs suivantes, aux profondeurs où étaient les autres thermomètres :

PROFONDEURS.	VARIATIONS DIURNES PAR LA 1re FORMULE.	VARIATIONS DIURNES PAR LA 2me FORMULE.
0m,4	0°37	0°,82
0m,6	0,06	0,17
0m,8	0,01	0,04
1m,0	0,002	0,007

Les mêmes formules montrent encore que la plus grande variation diurne de la température se réduirait à un centième de degré, aux profondeurs de 8 décimètres d'après l'une, et de 1 mètre environ d'après l'autre; c'est-à-dire à peu près à la profondeur même où nous avons trouvé que les *maxima* et les *minima* arriveraient aux mêmes instans qu'à la surface de la terre.

Or, nous avons vu plus haut que la variation *annuelle* de la température se réduit aussi à un centième de degré à la profondeur d'un peu moins de 25 mètres; en prenant la 19e partie de cette valeur ou 1m,3, on aurait le point correspondant où devrait s'éteindre, d'après la théorie, la variation *diurne*. Ce point tomberait donc plus bas que ne semblerait l'indiquer l'observation; mais la discordance peut être due à l'exposition même des thermomètres et aux variations brusques de température qu'ils éprouvent sous l'action immédiate des rayons solaires.

Si, au lieu de prendre la plus grande variation diurne de la température, d'après ces derniers thermomètres, on prenait celle indiquée par les thermomètres exposés au nord et à l'ombre, on aurait 8°,66 et 10°,10 au lieu des valeurs 13°,12 et 18°,75. En faisant concourir ces valeurs avec les indications du thermomètre placé à la profondeur

Digitized by Google

de $0^m,2$, à la composition des formules, on trouve :

$$\text{Log. } \triangle_p = 0{,}93752 - 0{,}29854\ p,$$
$$\text{Log. } \triangle_p = 1{,}00432 - 0{,}20551\ p.$$

La première formule donne un mètre environ et la seconde $1^m,46$ pour la profondeur où les variations diurnes ne sont plus que de $0^o,01$; ce qui s'accorde mieux avec les valeurs déduites indirectement des observations des températures annuelles : la moyenne effectivement des deux valeurs précédentes est $1^m,23$ au lieu de $1^m,3$.

CONCLUSIONS.

Nous allons essayer de résumer succinctement les principaux résultats que présentent les observations sur les températures de la terre faites jusqu'à ce jour, et particulièrement celles de Bruxelles.

1° En descendant, à partir de la surface de la terre, à des profondeurs toujours croissantes, la température moyenne de l'année augmente graduellement; néanmoins, il paraîtrait qu'immédiatement au-dessous de la surface du sol, et à la profondeur d'un demi-pied ou d'un pied environ, il se présente une couche dont la température moyenne est un *minimum*.

2° La vitesse avec laquelle les variations *annuelles* des températures se transmettent à l'intérieur de la terre, peut être considérée comme étant de 6 à 7 jours pour une couche de terre de 1 pied d'épaisseur.

3° L'observation montre que, conformément à la théorie, les différences des températures extrêmes de l'année décroissent en pro-

Digitized by Google

gression géométrique pendant que l'on descend au-dessous de la surface du sol, selon une progression arithmétique.

4° Les variations des températures *annuelles* peuvent être considérées comme à peu près nulles aux profondeurs de 60 à 75 pieds, c'est-à-dire vers la couche où les *maxima* et les *minima* des températures devraient arriver aux mêmes époques qu'à la surface du sol.

5° Quand on descend à plusieurs pieds de profondeur, les variations *annuelles* des températures sont comme les sinus des temps, en supposant que la circonférence représente la période de l'année.

6° Il paraîtrait qu'en avançant vers des latitudes élevées, les variations *annuelles* des températures pénètrent à des profondeurs moins grandes.

7° La vitesse avec laquelle les variations *diurnes* des températures se transmettent à l'intérieur de la terre, peut être considérée comme étant d'un peu moins de trois heures pour une couche de terre de 1 décimètre d'épaisseur.

8° Les variations *diurnes* des températures peuvent être considérées comme étant à peu près nulles à la profondeur de $1^{m},3$; c'est-à-dire à une profondeur 19 fois moindre que celle où s'éteignent également les variations *annuelles*, conformément à la théorie.

Digitized by Google

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS FAITES EN 1834 SUR LA TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

1834.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.								TEMPÉRATURES RÉDUITES.						
	SURF.	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80
Janvier. . .	6°,8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	9,6	6°,92	7°,16	7°,53	8°,20	»	»	»	6°,86	7°,11	7°,52	8°,23	»	»	»
	9,6	7,80	8,11	8,36	8,82	»	»	»	7,76	8,09	8,36	8,84	»	»	»
Février. . .	4,6	3,66	4,89	6,28	7,48	»	»	»	3,64	4,94	6,51	7,63	»	»	»
	5,4	2,77	3,73	5,08	6,31	»	»	»	2,74	3,73	5,23	6,43	»	»	»
	9,3	5,48	5,35	5,76	6,38	»	»	»	5,40	5,26	5,71	6,41	»	»	»
Mars . . .	10,6	8,03	7,72	7,53	7,70	»	»	»	7,97	7,65	7,44	7,67	»	»	»
	5,5	4,83	6,12	7,05	7,87	»	»	»	4,81	6,19	7,21	7,96	»	»	»
	7,1	5,59	5,79	6,36	7,06	»	»	»	5,56	5,78	6,40	7,12	»	»	»
Avril . . .	7,1	5,66	6,17	6,73	7,32	»	»	»	5,63	6,17	6,78	7,38	»	»	»
	9,7	5,59	5,75	6,31	7,01	»	»	»	5,51	5,66	6,29	7,05	»	»	»
	11,8	8,48	8,00	7,87	7,97	»	»	»	8,41	7,89	7,75	7,93	»	»	»
Mai. . . .	18,2	13,19	11,90	10,88	10,19	»	»	»	13,04	11,68	10,55	10,00	»	»	»
	17,5	13,71	13,23	12,61	12,00	»	»	»	13,62	13,08	12,40	11,73	»	»	»
	16,2	12,72	12,69	12,58	12,41	»	»	»	12,62	12,59	12,48	12,31	»	»	»
Juin. . . .	18,7	14,96	14,06	13,57	13,16	»	»	»	14,85	13,89	13,35	13,01	»	»	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	20,7	16,34	16,02	15,65	15,27	13°,59	12°,92	11°,45	16,19	15,86	15,41	15,13	13°,15	12°,46	10°,90
Juillet. . .	22,6	17,13	16,55	16,05	15,69	13,94	12,78	11,44	16,94	16,33	15,77	15,53	13,42	12,19	10,86
	23,8	18,66	18,18	17,52	17,01	14,68	12,22	11,62	18,48	17,98	17,23	16,82	14,10	12,51	10,93
	22,6	18,65	18,28	17,84	17,54	15,38	13,62	11,79	18,49	18,09	17,58	17,39	14,83	12,90	11,03
Août . . .	22,6	18,68	18,70	18,41	18,15	15,95	14,07	11,97	18,55	18,53	18,23	18,02	15,44	13,35	11,16
	23,2	18,52	18,41	18,19	18,12	16,39	14,46	12,13	18,36	18,25	18,00	17,99	15,96	13,74	11,30
	17,5	15,93	16,78	17,26	17,64	16,51	14,65	12,21	15,88	16,79	17,32	17,68	16,42	14,19	11,45
Septembre .	18,5	15,70	16,08	16,31	16,68	16,34	14,88	12,34	15,02	16,00	16,32	16,67	16,27	14,53	11,60
	18,7	15,13	15,42	15,77	16,17	16,11	15,00	12,45	15,02	15,30	15,71	16,14	16,06	14,75	11,77
	15,3	13,73	14,89	15,49	15,96	15,85	15,00	12,53	13,69	14,92	15,61	16,02	15,93	14,90	11,95
Octobre . .	15,4	12,59	13,31	13,98	14,72	15,49	14,93	12,58	12,52	13,26	14,01	14,77	15,69	14,94	12,10
	11,9	11,58	12,78	13,62	14,37	15,01	14,79	12,62	11,57	12,87	13,81	14,50	15,32	14,94	12,25
	9,2	9,18	10,16	11,44	12,64	14,33	14,46	12,58	9,18	10,24	11,72	12,82	14,58	14,85	12,38
Novembre. .	12,3	10,97	11,21	11,59	12,20	13,65	14,31	12,63	10,94	11,19	11,60	12,23	13,93	14,64	12,43
	3,8	5,17	7,61	9,46	11,06	13,00	13,75	12,49	5,20	7,84	9,94	11,39	13,84	14,44	12,59
	3,7	4,21	5,48	7,07	8,78	11,91	13,26	12,38	4,22	5,59	7,45	9,01	12,80	14,11	12,65
Décembre. .	7,3	6,73	7,24	7,88	8,84	11,11	12,99	12,39	6,71	7,26	7,98	8,93	11,64	13,73	12,67
	2,8	4,13	5,16	6,96	8,28	10,56	12,44	12,24	4,16	5,98	7,31	8,50	11,26	13,42	12,65
	4,8	4,76	5,28	6,42	7,54	10,00	12,03	12,16	4,76	5,31	6,58	7,66	10,58	12,85	12,64

Digitized by Google

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS FAITES EN 1835 SUR LA TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

1835.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.								TEMPÉRATURES RÉDUITES.						
	SURF.	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80
Janvier. . .	3°,0	3°,86	5°,02	6°,26	7°,39	9°,54	11°,60	12°,05	3°,88	5°,10	6°,49	7°,55	10°,14	12°,43	12°,57
	5,9	5,61	5,83	6,39	7,14	9,23	11,33	11,99	5,61	5,83	6,45	7,22	9,67	12,04	12,52
	3,5	4,11	4,94	5,91	6,83	8,85	10,92	11,84	4,12	4,99	6,08	6,96	9,36	11,69	12,43
Février. . .	5,8	5,38	5,81	6,39	7,06	8,68	10,73	11,78	5,38	5,82	6,46	7,13	9,05	11,35	12,37
	5,8	5,26	5,60	6,25	6,95	8,55	10,48	11,67	5,26	5,61	6,31	7,02	8,91	11,11	12,26
	6,7	6,00	6,28	6,70	7,22	8,40	10,63	11,60	5,98	6,29	6,75	7,26	8,66	10,87	12,14
Mars . . .	5,5	4,83	5,52	6,33	7,03	8,37	10,13	11,48	4,81	5,54	6,43	7,11	8,70	10,70	12,08
	7,4	6,21	6,45	6,75	7,17	8,27	10,02	11,41	6,20	6,43	6,77	7,19	8,46	10,50	11,97
	6,5	4,70	5,39	6,23	6,93	8,22	9,81	11,28	4,67	5,39	6,23	6,99	8,56	10,36	11,88
Avril . . .	11,9	8,51	7,87	7,65	7,76	8,40	9,95	11,30	8,43	7,75	7,50	7,72	8,41	10,23	11,76
	8,1	6,76	7,44	7,90	8,37	8,69	9,89	11,23	6,73	7,44	7,96	8,41	8,81	10,21	11,69
	10,3	7,74	7,55	7,86	8,29	8,90	9,95	11,20	7,68	7,49	7,77	8,29	9,00	10,20	11,61
Mai. . . .	12,6	9,56	9,19	9,01	9,11	9,22	10,13	11,24	9,49	9,09	8,89	9,07	9,14	10,24	11,54
	14,5	11,55	10,97	10,64	10,45	9,78	10,37	11,29	11,47	10,86	10,48	10,36	9,55	10,32	11,47
	13,4	11,35	11,49	11,44	11,40	10,47	10,60	11,32	11,30	11,45	11,39	11,37	10,27	10,51	11,43
Juin . . .	20,6	15,39	13,73	12,81	12,30	11,24	11,11	11,48	15,23	13,47	12,44	12,09	10,75	10,73	11,37
	19,3	16,49	16,11	15,39	14,63	12,27	11,60	11,61	16,40	15,99	15,24	14,47	11,49	10,93	11,28
	14,4	13,32	14,02	14,39	14,50	13,06	11,86	11,63	13,29	14,02	14,45	14,52	12,89	11,51	11,38
Juillet . . .	19,4	15,45	14,72	14,38	14,23	13,42	12,36	11,77	15,33	14,55	14,17	14,11	13,12	11,93	11,41
	19,8	16,39	15,98	15,59	15,28	13,89	12,79	11,91	16,28	15,84	15,39	15,17	13,49	12,24	11,44
	22,9	17,72	17,30	16,74	16,36	14,59	13,29	12,10	17,55	17,11	16,50	16,19	14,15	12,68	11,53
Août . . .	19,3	16,47	16,83	16,75	16,67	15,12	13,62	12,21	16,40	16,76	16,67	16,62	14,84	13,10	11,65
	21,2	17,35	17,15	16,88	16,80	15,54	14,03	12,37	17,21	17,01	16,71	16,69	15,22	13,47	11,70
	18,7	16,36	16,83	16,87	16,97	15,79	14,32	12,49	16,29	16,78	16,84	16,95	15,60	13,89	11,88
Septembre .	16,9	14,55	15,23	15,64	16,07	15,73	14,46	12,56	14,48	15,20	15,66	16,05	15,72	14,17	12,00
	15,5	13,51	14,18	14,77	15,34	15,50	14,53	12,63	13,45	14,16	14,82	15,39	15,61	14,41	12,14
	16,7	14,54	15,04	15,26	15,51	15,35	14,65	12,76	14,47	15,01	15,26	15,51	15,33	14,49	12,26
Octobre . .	12,4	11,86	12,89	13,70	14,51	15,06	14,54	12,76	11,84	12,94	13,85	14,62	15,32	14,53	12,40
	9,3	9,28	10,58	11,61	12,67	14,16	14,34	12,71	9,28	10,66	11,80	12,86	14,62	14,71	12,55
	9,3	8,96	9,85	10,78	11,81	13,52	14,07	12,73	8,95	9,88	10,93	11,94	13,98	14,49	12,65
Novembre. .	3,5	5,57	7,75	9,23	10,68	12,72	13,58	12,62	5,61	7,92	9,60	10,94	13,44	14,28	12,78
	3,4	3,93	5,30	6,83	8,53	11,66	13,08	12,51	3,94	5,39	7,10	8,74	12,51	13,96	12,85
	9,6	7,74	7,76	8,11	8,88	11,00	12,94	12,58	7,70	7,71	8,11	8,93	11,40	13,63	12,91
Décembre. .	6,0	7,18	8,24	8,69	9,63	10,79	12,56	12,52	7,20	8,33	8,83	9,75	11,17	13,18	12,84
	0,6	2,72	4,50	6,18	7,76	10,28	11,93	12,31	2,75	4,65	6,53	8,01	11,08	12,80	12,86
	0,3	1,90	3,35	4,90	6,33	9,38	11,47	12,14	1,93	3,45	5,19	6,53	10,21	12,48	12,81

Digitized by Google

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS FAITES EN 1836 SUR LA TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

1836.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.								TEMPÉRATURES RÉDUITES.						
	SURF.	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80
Janvier. . .	0°,1	1°,91	2°,86	4°,07	5°,42	8°,52	11°,00	12°,00	1°,94	2°,93	4°,30	5°,59	9°,30	12°,07	12°,79
	3,1	2,94	3,43	4,22	5,17	7,67	10,55	11,89	2,94	3,45	4,32	5,26	8,20	11,50	12,72
	4,7	4,29	4,53	5,09	5,74	7,61	10,27	11,81	4,29	4,53	5,15	5,79	8,00	11,07	12,59
Février. . .	4,9	4,50	4,85	5,47	6,12	7,65	10,01	11,72	4,49	4,86	5,53	6,19	7,99	10,71	12,46
	2,5	3,49	4,57	5,42	6,16	7,64	9,76	11,59	3,51	4,65	5,60	6,27	8,03	10,45	12,38
	2,5	2,41	3,25	4,34	5,37	7,43	9,49	11,45	2,41	3,28	4,49	5,48	7,94	10,26	12,29
Mars . . .	7,8	5,91	5,59	5,70	5,97	7,33	9,53	11,44	5,88	5,53	5,65	5,95	7,50	10,08	12,25
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	7,8	7,42	7,62	7,74	7,99	»	9,37	11,31	7,43	7,62	7,75	8,00	»	9,61	11,85
Avril . . .	5,9	5,95	6,30	6,80	7,35	»	9,39	11,20	5,95	6,31	6,88	7,40	»	9,78	11,82
	8,4	7,66	7,50	7,57	7,88	»	9,58	11,19	7,64	7,48	5,55	7,88	»	9,85	11,68
	9,1	8,58	8,66	8,66	8,82	»	9,75	11,19	8,57	8,66	8,66	8,82	»	10,00	11,62
Mai. . . .	8,3	7,57	7,79	8,04	8,57	»	9,83	11,15	7,55	7,80	8,06	8,60	»	10,07	11,54
	11,8	10,11	9,60	9,37	9,39	»	10,10	11,20	10,07	9,53	9,27	9,36	»	10,18	11,48
	11,4	10,30	10,23	10,28	10,38	»	10,32	11,24	10,27	10,20	10,25	10,36	»	10,31	11,43
Juin. . . .	14,9	13,32	12,48	11,89	11,56	»	10,69	11,36	13,28	12,38	11,72	11,46	»	10,47	11,38
	17,5	15,59	14,68	13,97	13,33	»	11,18	11,51	15,54	14,57	13,77	13,19	»	10,69	11,33
	16,9	15,34	14,89	14,56	14,22	»	11,59	11,62	15,29	14,81	14,43	14,15	»	11,06	11,34
Juillet. . .	19,5	17,37	16,54	15,87	15,28	»	12,25	11,78	17,30	16,41	15,71	15,13	»	11,60	11,36
	17,4	16,14	16,11	16,00	15,77	»	12,54	11,88	16,09	16,07	15,95	15,74	»	11,94	11,44
	15,7	14,53	14,74	14,89	15,02	»	12,82	11,93	14,49	14,71	14,86	15,02	»	12,45	11,53
Août . . .	16,3	14,95	15,03	15,11	15,13	»	13,21	12,06	14,90	14,99	15,07	15,11	»	12,86	11,61
	16,8	15,33	15,28	15,22	15,22	»	13,49	12,18	15,28	15,24	15,17	15,20	»	13,19	11,74
	15,7	14,70	14,90	15,11	15,22	»	13,68	12,28	14,67	14,87	15,11	15,23	»	13,44	11,87
Septembre .	14,7	13,85	14,36	14,67	14,96	»	13,83	12,38	13,82	14,36	14,70	14,99	»	13,67	11,99
	11,4	11,36	12,25	13,00	13,77	»	13,79	12,38	11,36	12,29	13,14	13,87	»	13,91	12,18
	13,1	12,58	12,68	12,94	13,39	»	13,87	12,48	12,56	12,67	12,95	13,42	»	13,99	12,29
Octobre . .	11,9	11,68	12,24	12,73	13,31	»	13,82	12,52	11,68	12,26	12,81	13,38	»	13,97	12,33
	13,0	12,58	12,99	13,11	13,46	»	13,86	12,62	12,58	13,00	13,14	13,49	»	13,96	12,43
	8,5	9,28	10,74	11,68	12,59	»	13,64	12,59	9,28	10,85	11,91	12,76	»	14,01	12,55
Novembre. .	5,7	6,46	7,64	8,96	10,46	»	13,29	12,48	6,48	7,72	9,20	10,66	»	14,01	12,71
	6,4	6,74	7,69	8,56	9,69	»	13,07	12,47	6,74	7,75	8,71	9,84	»	13,80	12,73
	7,5	7,33	7,45	8,05	9,04	»	12,79	12,42	7,33	7,45	8,11	9,15	»	13,53	12,73
Décembre. .	8,4	8,63	9,10	9,46	9,99	»	12,63	12,46	8,63	9,14	9,54	10,08	»	13,15	12,73
	6,0	6,50	7,23	8,06	9,12	»	12,26	12,37	6,52	7,28	8,21	9,24	»	12,95	12,76
	1,5	3,69	5,40	6,75	7,75	»	11,81	12,22	3,72	5,55	7,04	7,96	»	12,73	12,79

Digitized by Google

RÉSUMÉ GÉNÉRAL DES OBSERVATIONS FAITES EN 1834 ET 1835 SUR LA TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

1834.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.								TEMPÉRATURES RÉDUITES.						
	SURF.	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80
Janvier. . .	8°,7	7°,36	7°,63	7°,94	8°,51	»	»	»	7°,31	7°,60	7°,94	8°,53	»	»	»
Février. . .	6,4	3,97	4,66	5,71	6,72	»	»	»	3,93	4,64	5,82	6,82	»	»	»
Mars . . .	7,8	6,15	6,54	6,98	7,54	»	»	»	6,11	6,54	7,02	7,58	»	»	»
Avril . . .	9,3	6,58	6,64	6,97	7,43	»	»	»	6,52	6,57	6,94	7,45	»	»	»
Mai. . . .	17,3	13,21	12,61	12,02	11,53	»	»	»	13,09	12,45	11,81	11,35	»	»	»
Juin. . . .	19,6	15,65	15,04	14,62	14,63	»	»	»	15,52	14,88	14,38	14,07	»	»	»
Juillet. . .	23,0	18,15	17,67	17,14	16,75	14°,66	13°,21	11°,62	17,97	17,47	16,86	16,58	14°,12	12°,53	10°,94
Août . . .	21,2	17,71	17,96	17,96	17,97	16,29	14,40	12,10	17,60	17,86	17,85	17,90	15,94	13,76	11,30
Septembre .	17,5	14,85	15,46	15,88	16,27	16,10	14,96	12,44	14,78	15,41	15,88	16,28	16,09	14,73	11,77
Octobre . .	12,1	11,12	12,08	13,01	13,91	14,94	14,73	12,59	11,09	12,12	13,18	14,03	15,20	14,91	12,24
Novembre. .	6,6	6,78	8,10	9,37	10,68	12,85	13,77	12,50	6,79	8,21	9,69	10,88	13,52	14,40	12,56
Décembre. .	5,0	5,21	5,89	7,09	8,22	10,56	12,49	12,26	5,21	5,95	7,29	8,36	11,16	13,33	12,65
Année. .	12,9	10,56	10,86	11,22	11,68	»	»	»	10,48	10,81	11,22	11,65	»	»	»
1835.															
Janvier. . .	4,1	4,53	5,26	6,19	7,12	9,21	11,29	11,96	4,54	5,31	6,34	7,24	9,72	12,05	12,51
Février. . .	6,0	5,54	5,90	6,45	7,08	8,54	10,51	11,68	5,54	5,91	6,51	7,14	8,87	11,11	12,26
Mars . . .	6,5	5,25	5,79	6,44	7,04	8,29	9,99	11,39	5,23	5,79	6,51	7,10	8,57	10,52	11,98
Avril . . .	10,1	7,67	7,62	7,80	8,14	8,66	9,93	11,24	7,61	7,56	7,74	8,14	8,74	10,21	11,69
Mai. . . .	13,5	10,82	10,55	10,36	10,32	9,82	10,37	11,28	10,42	10,47	10,25	10,27	9,65	10,36	11,48
Juin. . . .	18,0	15,07	14,62	14,20	13,81	12,19	11,52	11,57	14,97	14,49	14,04	13,69	11,71	11,06	11,34
Juillet. . .	20,5	16,49	16,00	15,57	15,29	13,97	12,81	11,92	16,39	15,83	15,35	15,16	13,59	12,28	11,46
Août . . .	19,6	16,73	16,93	16,83	16,81	15,49	13,99	12,36	16,63	16,85	16,74	16,75	15,22	13,49	11,74
Septembre .	16,3	14,20	14,82	15,23	15,64	15,53	14,55	12,65	14,13	14,79	15,25	15,66	15,55	14,36	12,13
Octobre . .	10,4	10,34	11,11	12,03	12,99	14,25	14,32	12,73	10,02	11,16	12,19	13,14	14,64	14,58	12,53
Novembre. .	5,5	5,75	6,94	8,06	9,36	14,79	13,20	12,57	5,75	7,01	8,27	9,54	12,45	13,96	12,85
Décembre. .	2,3	3,93	5,36	6,59	7,91	10,15	11,99	12,32	3,96	5,48	6,85	8,43	10,82	12,82	12,84
Année. .	11,0	9,69	10,07	10,48	10,96	11,49	12,04	11,97	9,60	10,05	10,50	11,02	11,63	12,23	12,06

Digitized by Google

RÉSUMÉ GÉNÉRAL DES OBSERVATIONS FAITES EN 1836 SUR LA TEMPÉRATURE DE LA TERRE

1836.	TEMPÉRATURES OBSERVÉES.								TEMPÉRATURES RÉDUITES.						
	SURF.	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80	0m,19	0m,45	0m,75	1m,00	1m,95	3m,90	7m,80
Janvier. . .	2°,6	3°,04	3°,61	4°,46	5°,44	7°,93	10°,60	11°,90	3°,06	3°,64	4°,59	5°,55	8°,50	11°,55	12°,70
Février. . .	3,3	3,47	4,22	5,07	5,88	7,57	9,75	11,58	3,47	4,26	5,21	5,98	7,99	10,47	12,38
Mars . . .	7,8	6,67	6,61	6,72	6,98	»	9,45	11,37	6,65	6,57	6,70	6,97	»	9,89	12,05
Avril . . .	7,8	7,40	7,49	7,68	7,68	»	9,57	11,19	7,39	7,48	7,03	8,03	»	9,88	11,71
Mai. . . .	10,5	9,33	9,21	9,23	9,44	»	10,09	11,20	9,30	9,18	9,19	9,44	»	10,19	11,48
Juin . . .	16,4	14,75	14,02	13,47	13,04	»	11,16	11,50	14,70	13,92	13,31	12,93	»	10,74	11,35
Juillet. . .	17,5	16,02	15,80	15,59	15,36	»	12,54	11,86	15,96	15,73	15,51	15,30	»	12,00	11,44
Août . . .	16,3	14,99	15,07	15,15	15,19	»	13,46	12,17	14,95	15,03	15,12	15,18	»	13,16	11,74
Septembre .	13,1	12,60	13,10	13,54	14,04	»	13,83	12,41	12,58	13,11	13,60	14,09	»	13,86	12,15
Octobre . .	11,2	11,18	11,99	12,51	13,12	»	13,77	12,57	11,18	12,04	12,62	13,21	»	13,98	12,44
Novembre. .	6,5	6,84	7,59	8,52	9,73	»	13,05	12,46	6,85	7,64	8,67	9,88	»	13,78	12,72
Décembre. .	5,3	6,27	7,24	8,09	8,96	»	12,23	12,35	6,29	7,32	8,26	9,09	»	12,94	12,76
Année. .	9,9	9,38	9,66	10,00	10,40	»	11,62	11,88	9,36	9,66	9,98	10,47	»	11,87	12,06

Nota. La révision définitive des tableaux a fait reconnaître deux à trois erreurs de chiffres, mais comme elles ne portent que sur des dernières décimales des indications thermométriques, elles ne modifient en rien les résultats cités dans ce mémoire.

FIN.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Considérations générales.

Variations annuelle et diurne de la température, 3. — Couches où ces variations cessent de se manifester, 4. — Elles sont à des profondeurs qui sont comme les racines carrées des durées des périodes annuelle et diurne, *ib.* — Autre loi relative aux mêmes périodes, *ib.* — En faisant abstraction des variations annuelle et diurne, la chaleur semble croître en raison directe des profondeurs, 5. — Le contraire a lieu en s'élevant dans l'atmosphère, *ib.* — Température des espaces planétaires, *ib.* — État de la science sous les rapports précédens, 6.

PREMIÈRE PARTIE.

TEMPÉRATURE DE L'AIR.

1. *Résultats généraux des observations des variations diurne et annuelle de la température de l'air.*

Limites des variations annuelle et diurne du thermomètre à l'air libre, 6. — Leur époque dépend d'une infinité de causes, 7. — Variations diurnes du thermomètre, *ib.* — Observations horaires de Chiminello, de Brewster, de Neuber, etc., *ib.* — La courbe qui les représente n'est pas régulière; les *maxima* et *minima* varient selon les saisons, *ib.* — La température moyenne du jour s'écarte peu de la température moyenne de deux heures homonymes, 8. — L'intervalle de temps qui sépare les deux températures moyennes du jour, varie peu avec les climats, 9. — Les instans de la température moyenne du jour varient selon les climats, *ib.* — La courbe des variations annuelles est plus régulière que celle des variations diurnes, 10. — Époques du *minimum* et du *maximum* de température de l'année, *ib.* — Époques de la température moyenne, *ib.* — Les limites des variations sont très-différentes selon les climats, 11. — Climats constans, variables, excessifs, *ib.* — L'influence des saisons varie avec les hauteurs, *ib.*

2. *Observations des variations diurne et annuelle de la température de l'air en Belgique.*

Il n'existe pas encore de travail spécial fait en Belgique sur les variations horaires du thermomètre, 12. — Observations faites à Bruxelles, *ib.* — Résultats qu'elles présentent, 14. — Variation *diurne*, 15. — Variation annuelle, 16. — Époques du *maximum* et du *minimum* de température de l'année, 17. — Nature du climat en Belgique, *ib.* — Température de chaque mois en Belgique, 18. — Température moyenne de l'année, 19.

DEUXIÈME PARTIE.

TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

1. *Résultats généraux des observations diurne et annuelle de la température de la terre, faites jusqu'à ce jour.*

Les anciennes observations n'étaient pas corrigées, 19. — Observations de M. Muncke, sur la

Digitized by Google

variation diurne, 20. — Conséquences de la formule qui donne les variations annuelles à différentes profondeurs, 21. — Formule générale déduite de la théorie de la chaleur, 22. — Observations sur les variations annuelles faites, par Ott, à Zurich, 23. — Observations de Leslie, près d'Édimbourg, 26. — Observations de Herrenschneider, près de Strasbourg, 31. — Conclusions déduites par M. Pouillet des observations précédentes, 33. — Observations de M. Muncke, à Heidelberg, 34. — Observations de M. Rudberg, à Upsal, 36. — Résumé des observations précédentes, 38. — Observations de M. Arago, *ib.* — Recherches analytiques de M. Poisson, *ib.*

2. *Observations des variations diurne et annuelle de la température de la terre à Bruxelles.*

Nécessité de corriger les indications des thermomètres placés en terre, *ib.* — Formule de correction, 42. — Table pour les corrections, 45. — Corrections pour les températures de 1835, 47. — Températures réduites pour 1834, 35 et 36, 48.

3. *Sur les époques et les grandeurs des* maxima *et* minima *de la température annuelle à différentes profondeurs.*

Calcul de l'époque des *maxima* et *minima* de la température annuelle, 49. — Type de calcul, 50. — Époque du *maximum* et du *minimum* de température annuelle en 1834, 35 et 36, 52. — Époque de la température moyenne à la suite du *maximum* et du *minimum* en 1834, 35 et 36, 54.—Vitesse de transmission de la chaleur, 55. — Grandeur du *maximum* et du *minimum*, donnée par le calcul, pour 1834, 35 et 36, 56.— Résumé des observations faites sur la vitesse de transmission de la chaleur, 57.

4. *De la loi de décroissement des variations annuelles de la température au-dessous de la surface de la terre.*

Précautions à prendre dans le calcul, 58. — Résultats observés et calculés pour Bruxelles, *ib.* — Résumé des observations faites jusqu'à ce jour, 60. — Formules qui ont servi à les calculer, 61. — Conséquences qu'on déduit de ces formules, *ib.*

5. *Sur la loi des variations de température que subit une même couche de terre pendant la durée d'une année.*

Formule pour le calcul, 62.—Détermination des constantes, et applications pour Bruxelles, 63.

6. *Sur les variations diurnes de la température de la terre.*

Difficultés de ce genre d'observations, 66. — Vitesse de transmission de la chaleur, 67. — Variations diurnes de la température, 69.

Conclusions, 71.

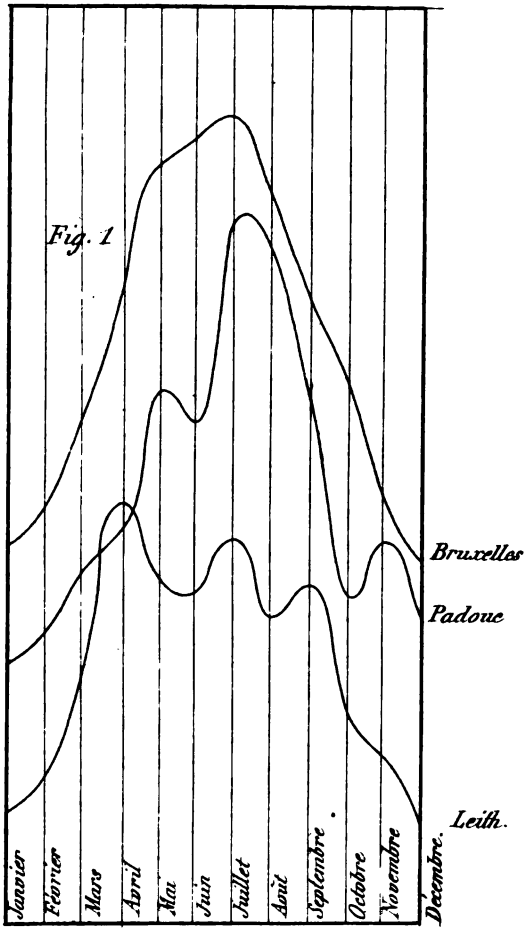
Tableaux numériques, 73.

Planches.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

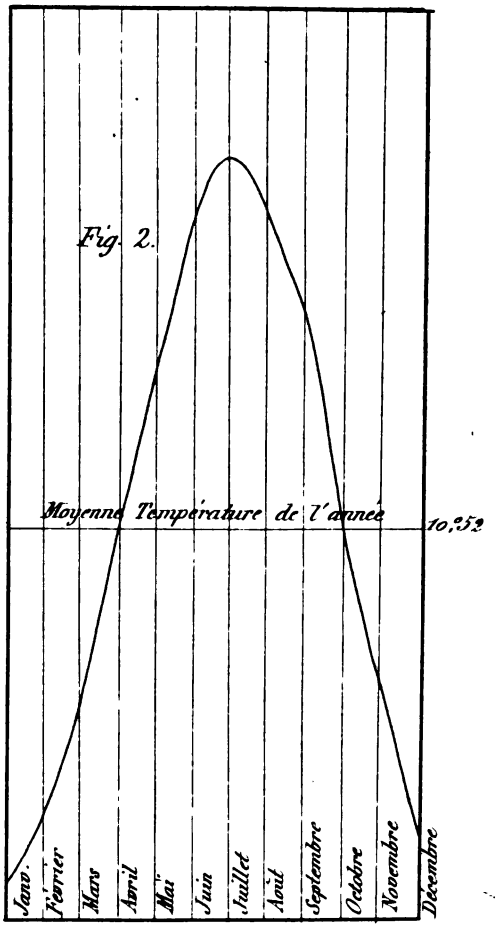
(Extrait du tome X des *Mémoires de l'Académie royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles.*)

Digitized by Google



Grandeur de la Variation Diurne du Thermomètre pendant l'Année.

(1 Centimètre représente 1° Centig.)



Température de l'Air en Belgique pendant les différens mois de l'Année.

(1 Centimètre représente 2° Centig.)

Lith. Burggraaf. Imp.

Digitized by Google

Digitized by Google

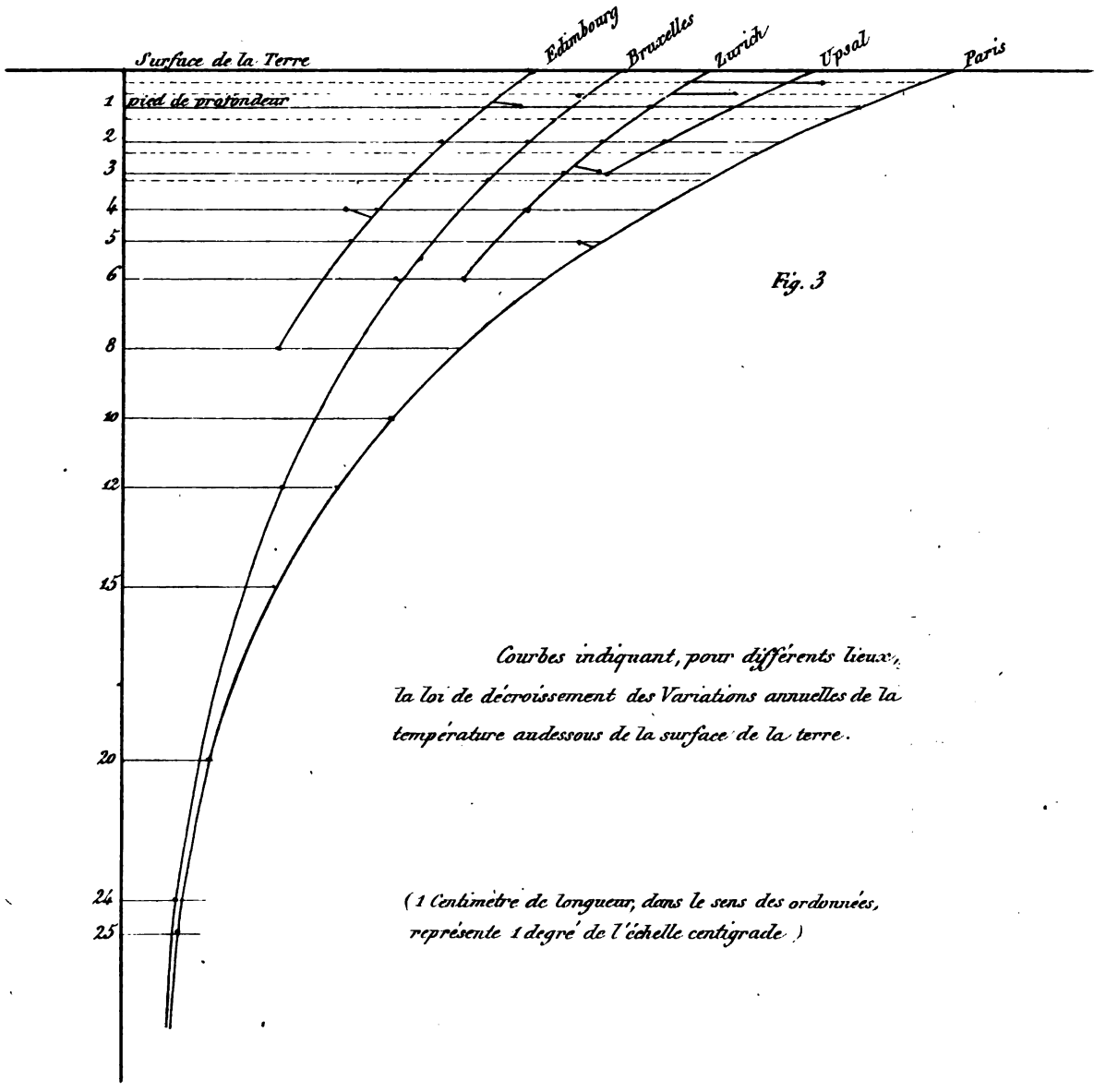


Fig. 3

Courbes indiquant, pour différents lieux, la loi de décroissement des Variations annuelles de la température audessous de la surface de la terre.

(1 Centimètre de longueur, dans le sens des ordonnées, représente 1 degré de l'échelle centigrade.)

Lit. de Burgraff & Brux.

Digitized by Google

Digitized by Google